IIR 型ディジタルフィルタプログラマー

http://iwasakisoft.com

作成：平成 **22** 年 **10** 月

ExpWave-IIR の仕様及び本取扱説明書は、改良のため、予告なく変更する場合があります。

・ExpWave-IIR のインストールの方法

ExpWaveIIR(V3.0)Setup.msi　を実行します。

すると、Program Files¥IwasakiSoft¥ExpWaveIIR のホルダに次のファイルが作成されます。

ExpWaveIIR.exe
ExpWaveIIR.chm
IIR_manual.pdf
Rich.ico
RichDoc.ico
使用許諾契約書.rtf
FrSample.txt
PhaseSample.txt
JMAKOBEEW.txt
JMAKOBENS.txt
JMAKOBEUD.txt

デスクトップに
ExpWaveIIR.exe のショートカットが作成されます。

プログラムメニューの ExpWaveIIR ホルダに
ExpWaveIIR.exe のショートカットと
IIR_manual.pdf（取説）のショートカットが作成されます。

・ExpWave-IIR のアンインストールの方法

ExpWaveIIR(V3.0)Setup.msi　を再実行します。

目　　次

iwasakisoft.com

１．ExpWave-IIR の特徴

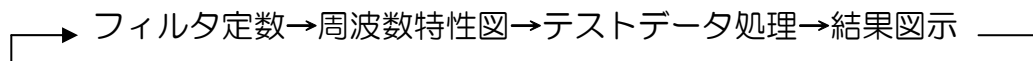
①ExpWave-IIR は、プログラマー。
ExpWave-IIR は、IIR 型ディジタルフィルタのプログラマーです。ExpWave-IIR を使うと、だれでも高度な IIR 型ディジタルフィルタソースコードを製作することができます。

ソースコードの記述言語は、Visual Basic 言語、C 言語、Fortran 言語です。製作したディジタルフィルタは、パソコンソフト、計測器やワンボードマイコンに組み込むことも可能です。また、DSP を使うと高速なディジタルフィルタが実現できます。

ExpWave-IIR は、ローパス、ハイパス、バンドパス、バンドリジェクト、ナローバンドパス、ナローバンドリジェクトの通常のフィルタに加え、ローカット付 1 回積分フィルタ、ローカット付 2 回積分フィルタを作成します。特に、ローカット付積分フィルタは、リアルタイムに、連続的に積分結果を安定して出力するもので、岩崎ソフトが世界に先駆け独自に開発したものです。

②ExpWave-IIR は、波形歪みの無いオフライン処理用フィルタの作成ができる。
IIR 型は、一般に、リアルタイム性を重視し、波形歪みを容認するものです。このため、IIR 型フィルタは、オフラインのデータ処理には用いられていないのが普通です。
しかし、IIR 型をオフライン処理に用いる場合（全データが入手後の処理の場合)、波形の歪みを修正する方法が存在します。すなわち、逆方向フィルタリングを追加するする方法です。ここでは、これを双方向フィルタリングと称します。
双方向フィルタリングの手法は、一般に知られていない手法です。IIR 型をオフライン処理に用いる、この手法の優位性は、FIR 型フィルタに較べ、計算量が圧倒的に少ないことにあります。岩崎ソフトは、この手法をもっと普及させたいと思っています。このため、ExpWave-IIR にこの機能を追加しました。ExpWave-IIR は、双方向フィルタ用プログラムソースリストも提供します。

③ExpWave-IIR は、フィルタ開発支援機能が充実（シュミレータ機能搭載)。
ExpWave-IIR は、設定したフィルタ定数から周波数特性図を表示（利得、位相、群遅延時間）します。また、作成したフィルタを用いてデータ処理し、その結果の図化機能を有しています。また、フィルタの周波数特性にデータの周波数スペクトルを重ねて図化することも出来ます。
この機能を用いると、テスト用データを一度読み込んでおくと、次のループを容易に繰り返すことができ、短時間で最適フィルタを決めることができます。

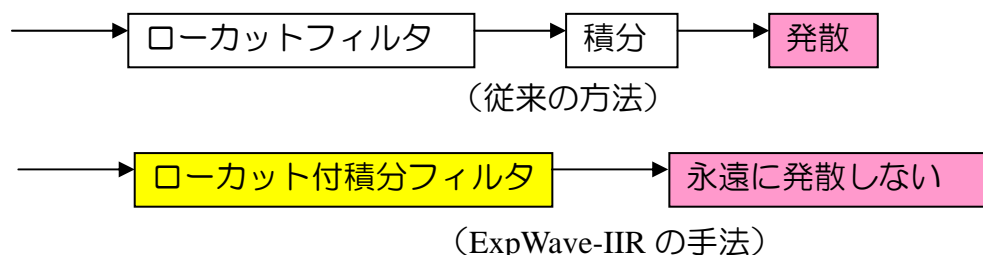
フィルタ定数→周波数特性図→テストデータ処理→結果図示

この他に、インパルル応答の長さを測る機能、テスト用正弦波の作成機能をも有しています。

④ExpWave-IIR は、Excel でデータ処理するプログラムを作成する。
出力された Visual Basic のプログラムソースを Excel の【ツール】⇒【マクロ】⇒【Visual Basic Editor】画面に貼り付けるだけで、Excel の Visual　Basic を使いフィルタ処理ができます。その結果を Excel の図化機能を用いて図化することも可能です。

また、ExpWave-IIR がエディタ画面に出力するデータを【コピー】、【貼り付け】で Excel のシートに直接貼り付け、貼り付けたデータを使い、Excel で描画できます。例えば、周波数応答図、インパルス応答図、フィルタリング処理の入出力図等です。

⑤ExpWave-IIR は、データ処理ソフト。
また、ExpWave-IIR は、データ数 1 万以下のデータをオフラインでフィルタリング処理するソフトも内蔵しています。この処理は、正方向及び双方向フィルタリングが可能ですが、双方向フィルタリング処理を選択すると、波形歪みの無い（無歪みのフィルタリング）処理が可能になります。また、処理結果の図を表示すると同時に、エディタ画面に入出力データを出力します。このデータを用いると、Excel で自由な形式で図を作成することが出来ます。

⑥ExpWave-IIR は、地震計、動揺計のフィルタも製作できる。
従来から、計測器において積分を連続的に行うと、累積誤差のため、発散することが知られています。このため、この処理は、オフラインで行われるのが一般的です。この積分手法は、例えば、ローカットフィルタを通過後、積分することが行われています。この場合も、累積誤差が少なくなりますが、長時間すると発散します。また、ドリフト成分を最小二乗法で除き処理することも行われています。
つまり、リアルタイムに、連続的に積分を行い、かつ発散しない手法は、難しい課題とされていました。弊社は、この問題を、ローカット付積分フィルタを開発することで克服しました。

（従来の方法）

（ExpWave-IIR の手法）

ExpWave-IIR は、このローカット付き積分フィルタを製作できます。ローカット付き積分フィルタは、加速度から変位を求める地震計に使ったり、また、振動ジャイロ・光ジャイロの角速度出力を積分し、動揺下で、安定に回転角を求めたりできます。（注：センサー精度によりローカット周波数が変わります。）
ローカット付 1 回積分フィルタは、角速度センサー値を入力した場合、リアルタイムに回転角度を出力します。GPS ナビのトンネル内等の電波断での補正、船舶等浮体、飛行物体の動揺計測に利用できます。角速度センサーとしては、振動ジャイロや光フィバージャイロが使われます。また、姿勢が変わらない加速度センサーからリアルタイムに速度を求めることにも利用できます。（加速度センサーは、その姿勢により重力加速度の影響を受けます。）
ローカット付 2 回積分フィルタは、加速度計センサー値を入力した場合、変動変位をリアルタイムに発散することなく出力し続けることができます。これを用いると、加速度センサーを用いた地震計を容易に製作でき、地震監視システムに応用できます。さらに、3 個の角速度センサーと 3 個の加速度センサーを用いた 6 自由度動揺計の製作にも応用できます。すなわち、角速度センサーから、3 方向の回転角をもとめ、その回転角（姿勢変化）により生じる重力加速度の影響を加速度センサー値から除外した加速度値を用いて、3 方向の変位を求める 6 自由度動揺計です。また、これらは、ゲームの入力機器、カメラの手

ぶれ補正にも利用できると思われます。

⑦ExpWave-IIR は、リッチテキスト形式の報告書を作成します。
作成した報告書は、Word で直接読み取ることができます。また、ExpWave-IIR 画面からも、プログラムコード、プログラム解説、周波数応答図、周波数応答図データを直接、【コピー】、【貼り付け】で他のソフトに直接貼り付けできます。

⑧ExpWave-IIR は、FIR 型ディジタルフィルタも作成します。
ExpWave-IIR は、ExpWave-IIR で作成できる IIR 型ディジタルフィルタとほぼ同じ特性を持つ、対称 FIR 型ディジタルフィルタも作成し、プログラムソースリストを提供します。（インパルス応答長が 2490 個以上の場合は、除きます。）　これにより、少し遅れを持つリアルタイム型で無歪みのフィルタリングが行えるようになります。

本取説では、次の英語の用語を次の用語で表します。

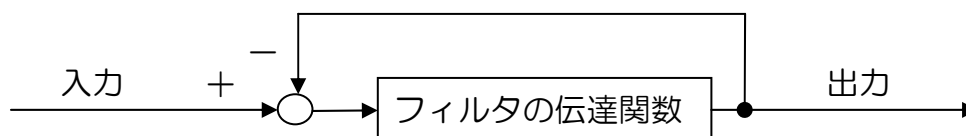
Single integral→１回積分
Double integral→２回積分
Single differential→１回微分
Double differential→２回微分

例えば、Double integral を２重積分と、Double differential を２階微分と呼ぶ人もいますが、分かり易くするため、上記の用語で統一しました。

参　　考
a first order differential equation→１階微分方程式
a second order differential equation→２階微分方程式
１階は、first order、２階は、second order の訳です、

2．IIR (Infinite Impulse Response)型フィルタについて

①IIR 型フィルタとは？

IIR 型フィルタは、フィルタ出力の一部を入力に戻し（フィードバック）し、フィルタ出力を計算する手法です。このため、理論的には、「ある時刻の入力データは、出力に影響し、さらにその一部が入力に戻される」が永久に繰り返されるため、ある時刻の入力データは、永久に出力に影響することになります。これが、**'Infinite'**無限の意味です。しかし、実際は、有限長と見なすことが出来ます。

②IIR 型フィルタの利点

IIR 型フィルタは、FIR(**Finite Impulse Response**)型フィルタと比較して、時系列データを記憶する量が圧倒的に少なく、このため、計算回数が非常に少なくなります。また、一般的に、FIR 型フィルタに比べ、遅延時間も少なくなります。

③周波数応答特性

ある周波数の振幅 1、位相ゼロのコサイン波をフィルタに入力したとき、出力は、同じ周波数のコサイン波となるが、振幅と位相に変化を受けます。例えば振幅は、A 倍、位相が φ 度ずれる。そして、この A、φ は、利得、位相（位相ずれ）と呼ばれ、入力の周波数により異なる値を持ちます。この A、φ を、周波数に対応して表したものが、フィルタの「周波数応答特性」と呼ばれるものです。

④位相直線性とは

今、1 つの有限長の波形 X があったとします。その波形をフィルタに通した結果、その波形と全く同じ波形で L 時間遅れた波形 Y が得られたとします。X と Y は、多くの周波数の波の和で表すことができます。その内の 1 つの波の周波数を F （角周波数を ω）、周期を T とします。

Y の周波数 F の成分の波も、X の周波数 F の成分の波とは、L 時間遅れた波形になっているはずです。これを、位相 φ で表しましょう。周期 T に対し L 時間遅れているので、φ ＝2π（-L／T）の式で表現できます。これを、周波数で書き換えると、

$$\varphi(\omega) = 2\pi(-L \cdot F) = -L\omega \quad \cdots\cdots \textbf{(1)}$$

と表記できます。これを、縦軸に位相 $\varphi(\omega)$を横軸に周波数 ω を取って図化すると、傾き -L の右下がりの直線が得られます。

すなわち、「**フィルタの特性に位相直線性**」があれば、波形が歪むことなく、フィルタを通すことができます。また、この式から遅延時間が計算できます。

さて、Y に元の時間座標から L 時間遅れた時間座標で、周波数成分（振幅と位相）を計算

すると、X の周波数成分と完全に一致します。すなわち位相遅れは、ゼロとなります。
この様に、位相直線性が成立する場合、元の時間座標では、出力の位相変化が存在するが、L 時間遅れた時間座標を考えると、出力の位相遅れゼロと考えることが出来ます。

⑤「位相直線性」とフィルタの種類

時刻 t の出力値を計算するのに、t 時刻以前と以後のデータを使ってフィルタリング処理をすると、位相直線性を保持することができます。これは、現在のデータ出力値が未来に入手されるデータ値の影響をうけるため、「**因果律を犯すフィルタ**」とも呼ばれます。
これに対し、時刻 t の出力値を計算するのに、t 時刻以前のデータのみを使ってフィルタリング処理をすると、一般的に位相直線性が失われます。このフィルタは、別の呼び方で、「**因果律を犯さないフィルタ**」とも呼ばれます。

⑥因果律を犯さない **IIR** 型フィルタ

通常、IIR 型フィルタは、このフィルタを指します。このフィルタは、「**電気回路・振動子で作成されたアナログフィルタをデジタル化したもの**」ということもできます。このため、リアルタイム性が高く（出力遅延時間が少ない）、演算が少なく高速処理性を有しています。ワンチップマイコンを組み込んだ、リアルタイム型の計測器等の利用にその特徴が生かせます。
また、電気回路フィルタと比較すると、この IIR 型フィルタは、電気回路では苦手な超低周波（長周期波）対応のフィルタを作成することができる特徴があります。本書では、これを「**IIR 型フィルタによる正方向フィルタリング**」または、「**正方向フィルタリング**」または、「**正方向処理**」と呼びます。
しかし、この **IIR 型フィルタによる正方向フィルタリング**は、完全な位相直線性を確保することが難しいため、必ず波形歪みを伴います。一般に、フィルタの次数を上げると、急な遮断特性が得られますが、直線性は、悪くなります。次数が少ないほど、許容リップル%が低いほど位相直線性が良くなります。また、サンプリング周波数と遮断周波数の関係でもこの直線性が異なります。また、この直線性を見るとき、例えばローパス、ハイパスでは、パスする周波数帯の位相の直線性を見ることが重要です。

⑦群遅延時間

一般に、FIR 型フィルタの場合、位相直線性が成立し、遅延時間を表す勾配 L は、全周波数に対して一定です。従って、式(2)が成立します。

$$L = -\varphi(\omega)/\omega = -d\varphi(\omega)/d\omega \quad \cdots\cdots (2)$$

一般的には、勾配 L は、角周波数 ω の関数になります。従って、勾配 $L(\omega)$は、次のように表されます。

$$L(\omega) = -d\varphi(\omega)/d\omega \quad \cdots\cdots (3)$$

この $L(\omega)$は、群遅延時間と呼ばれます。$L(\omega)$が直線を示している周波数範囲の波は、波形歪を生じないことを意味します。従って、この値は、波形歪の良否を示す指標でもあります。

⑧因果律を犯す **IIR** 型フィルタ

位相の直線性を持つフィルタと言えば、FIR 型と思われがちです。あまり良く知られてい

ませんが、IIR 型フィルタで位相の直線性を確保する方法があります。これは、正方向のフィルタリング処理に逆方向のフィルタリングを追加するする方法です。このことにより、正方向のフィルタリング処理の位相歪みを消すことができます。しかし、この処理は、オフラインのデータ処理に限定されます。すなわち、処理すべき全データが入手後でないと処理ができません。本書では、これを「**IIR 型フィルタによる双方向フィルタリング**」または、「**双方向フィルタリング**」または、「**双方向処理**」と呼びます。この場合は、位相ずれが完全にゼロになり、波形歪みは生じません。

⑨双方向フィルタリングの方法

「無歪みのフィルタリング」である双方向フィルタリングは、次の 2 段回の処理をします。1 段目は、データの初めからフィリタリングする正方向フィルタリング (Forward Filtering) である。2 段目は、得たデータの終わりからフィリタリングする逆方向フィルタリング (Backward Filtering)である。一般的には、正方向と逆方向に使う IIR 型フィルタは、同じものが使われる。この場合、正方向でずれる位相と、逆方向でずれる位相は、符号が逆になる。このため、双方向フィルタリングすると、位相ずれがキャンセルされ、位相ずれをゼロにすることができる。他方、利得は、掛算となり、ローパスとハイパスフィルタは、減衰が急になる。この結果、正方向の IIR 型フィルタが指定したカットオフ周波数で、利得 70%対し、双方向の IIR 型フィルタは、50%となります。

他方、積分フィルタの場合は、正方向と逆方向に使う IIR 型フィルタが別のものになります。**ExpWave-IIR** は、ローカット付積分フィルタに関し、3 種類の作成方法を用意しています。1 つ目は、正方向で 1 回積分フィルタ、逆方向で位相を戻すフィルタを組み合わせて用いるもの。2 つ目は、正方向で 2 回積分フィルタ、逆方向で位相を戻すフィルタを組み合わせて用いるもの。3 つ目は、正方向で 1 回積分フィルタ、逆方向では、それと同じ 1 回積分フィルタの分子にマイナス符号を乗じたフィルタを組み合わせて用いるもの。3 番目の組み合わせの場合、正方向は、1 回積分のフィルタで、双方向は、2 回積分のフィルタとなります。

⑩他の型式のフィルタとの比較

表-1 に、各種フィルタの比較を示します。

IIR 型の正方向フィルタリングの最大の利点は、リアルタイム性があり、計算量が少なく高速処理が可能なことです。この利点は、DSP、ワンチップマイコンでの計測器に利用されます。他方、IIR 型の双方向フィルタリングの最大の利点は、FIR 型に比較して、計算量が圧倒的に少ないことです。IIR 型は、通常１つの出力を計算するのに、高々10 回程度の積和計算です。他方、FIR 型は、例えば、ローカット付積分フィルタの場合、片側インパルス応答長 n が 500 データ以上になることがあります。この場合、FIR 型の計算は、**式(5)**参照となり、100 倍の計算が必要になります。

表-1　各種フィルタの比較

項目＼種類	IIR 型		FIR 型	
	正方向処理	双方向処理	対周波数利得位相設定	予測型
ﾘｱﾙﾀｲﾑ処理	○	×	○	○
ｵﾌﾗｲﾝ処理	△	○	○	○
ﾘｱﾙﾀｲﾑ処理の遅延時間	○ 少ない	－	△ IIR 型より大	◎ ゼロ
計算量	◎ 少ない	◎ 少ない	△ IIR 型より大	○ 少ない
位相直線性 (無歪みﾌｨﾙﾀ)	×	○	○	×
ﾛｰ、ﾊｲ、ﾊﾞﾝﾄﾞﾊﾟｽﾌｨﾙﾀの作成	○	○	○	×
ﾛｰｶｯﾄ付積分ﾌｨﾙﾀの作成	○	○	○	×
任意周波数特性ﾌｨﾙﾀの作成	×	×	◎	×
計算の安定性 （必要計算精度）	△	△	◎	◎
特徴	機器組込に優位	長いインパルス応答を持つ計算に有利	計測機器の周波数特性補正、単精度でも安定	最小二乗法演算を FIR フィルタ化したもの。
岩崎ソフト対応ソフト	ExpWave-IIR		ExpWave-FIR ExpWave-IIR*[2]	ExpWave-FCT*[1]

*[1] ExpWave-FCT の FCT は、forcast の意味です。
*[2] ExpWave-IIR による FIR 型フィルタの作成は、ExpWave-IIR が作成する IIR 型を FIR 型に変換するする手法で作成するものです。より一般的な FIR 型フィルタの作成（任意の周波数特性を持つフィルタ、フィルタ長の設定、減衰特性の設定など自由に試行出来る）には ExpWave-FIR をお勧めします。

３．IIR 型フィルタのプログラムの作成

一般に、最適ディジタルフィルタの製作は、トライアンドエラーの繰り返し作業になります。これは、フィルタの次数を大きくすると、より希望の特性に近いフィルタが得られる反面、リアルタイム処理での時間遅れが大きくなります。ExpWave-IIR は、フィルタの周波数応答を図で確認することができます。さらに、試験波のデータを読み込んでおくと、そのスペクトルとフィルタの特性の関係を図で確認でき、希望の特性に対して最適なフィルタを迅速に決定することができます。

①フィルタの選択と作成手順
プログラムを起動すると、リッチテキストエディタ（wordpad と同等）が現れます。本ソフト（ExpWave-IIR）により得られる結果は、このエディタ上に表示されます。例えば、プログラムソースリスト、フィルタの周波数応答特性図等です。ここで、【フィルタの作成】メニューを選択し、作成したいフィルタを選択します。フィルタの作成が完了すると、**図 1** のように、最新に作成したフィルタにチェックが付加されます。以後、【個別作成】、【データ処理】は、このフィルタが対象になります。

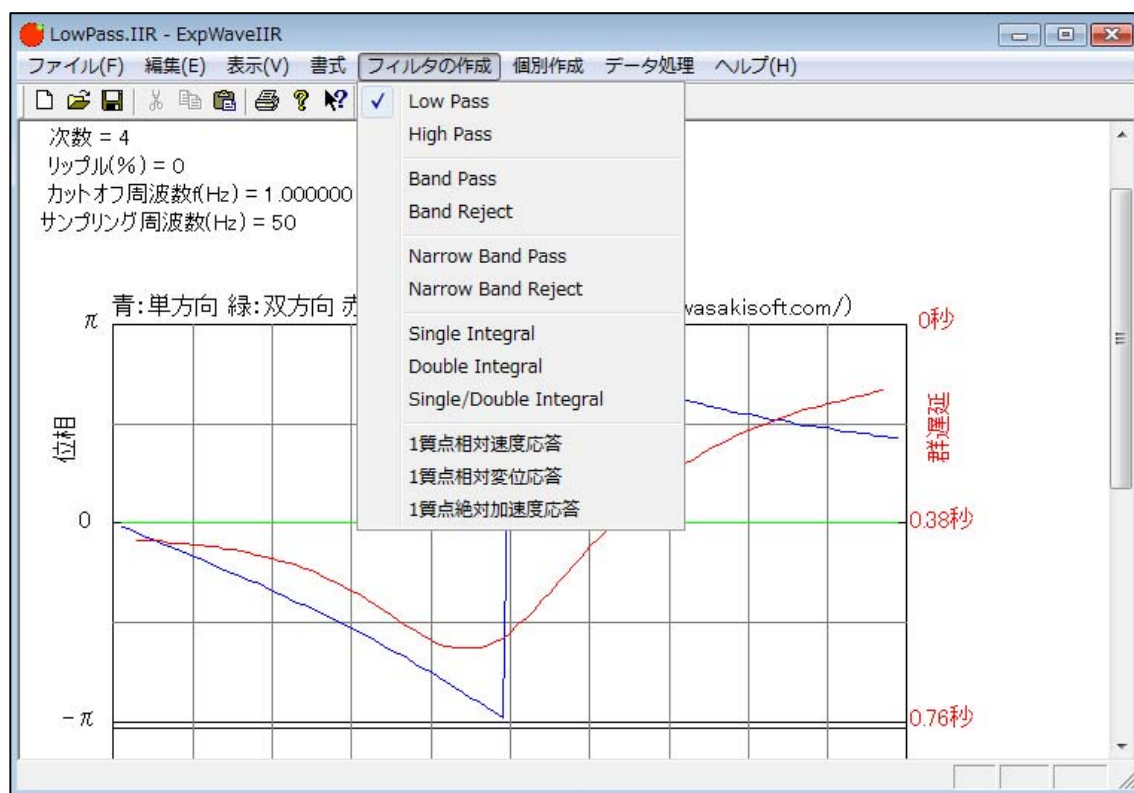



図 1　フィルタの作成 Dialog

フィルタの作成のメニューで例えば Low Pass を選択すると、**図 2** のダイアログが現れます。こので、【次数】窓にフィルタの次数を入れます。1～10 を設定することができます。許容リップルを 0 に設定すると、**バターワースフィルタ（Butterworth filter）**になります。それ以外は、**チェビシェフフィルタ（Chebyshev filter）**になります。
表示周波数範囲は、周波数応答グラフの表示範囲です。自動設定をはずすと、任意にセットできます。ただし、ナイキスト周波数（サンプリング周波数／2）以下に設定します。

出力アイテムは、リッチテキストエディタに表示するアイテムで、希望のものを選択します。
【次へ】ボタンをクリックすると、**図 3** の周波数応答特性図が現れます。ここで、**青色**は、正方向フィルタリングの場合のものです。また、**緑**は、双方向フィルタリングの場合です。後者の場合は、位相がゼロになっているのが確認できます。また、**赤**の群遅延は、正方向フィルタリングの場合のものです。双方向フィルタリングの群遅延は、ゼロです。利得図内の、**赤の点線**は、設定した希望周波数特性（理想特性）です。

この図を見て、修正する場合は、【入力修正】 ボタンをクリックします。このようにして、設定を完了すると、【完了】ボタンをクリックします。すると、リッチテキストエディタに出力アイテムが書き込まれます。

②Low Pass/High Pass フィルタの作成
フィルタの作成のメニューで Low Pass を選択し、**図 2** の入力ダイアログで入力値を設定し、【次へ】をクリックすると、**図 3** の周波数応答特性図が現れます。これを繰り返して、最適フィルタを見つけます。High Pass も Low Pass フィルタ作成もほとんど同じ操作となります。

図 2　Low Pass フィルタ作成 Dialog

③Band Pass/Band Reject フィルタの作成
フィルタの作成のメニューで Band Pass を選択し、**図 4** の入力ダイアログで入力値を設定し、【次へ】をクリックすると、**図 5** の周波数応答特性図が現れます。
この場合、カットオフ周波数、次数、許容リップルを低域側と高域側に個別に設定します。注意すべきことは、作成されるフィルタの次数は、設定した 2 つの次数の和になります。
Band Reject も Band Pass フィルタ作成もほとんど同じ操作ですので、Band Reject については省略します。

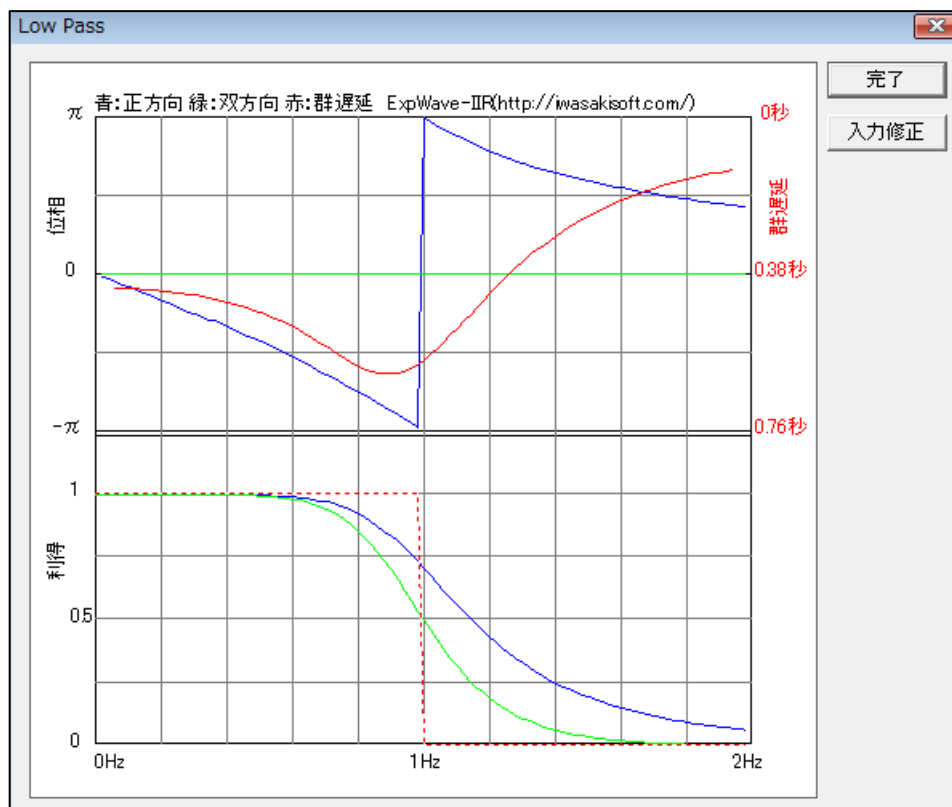



図 3 **LowPass** フィルタの周波数応答特性

図 4 **Band Pass** フィルタの設定 **Dialog**

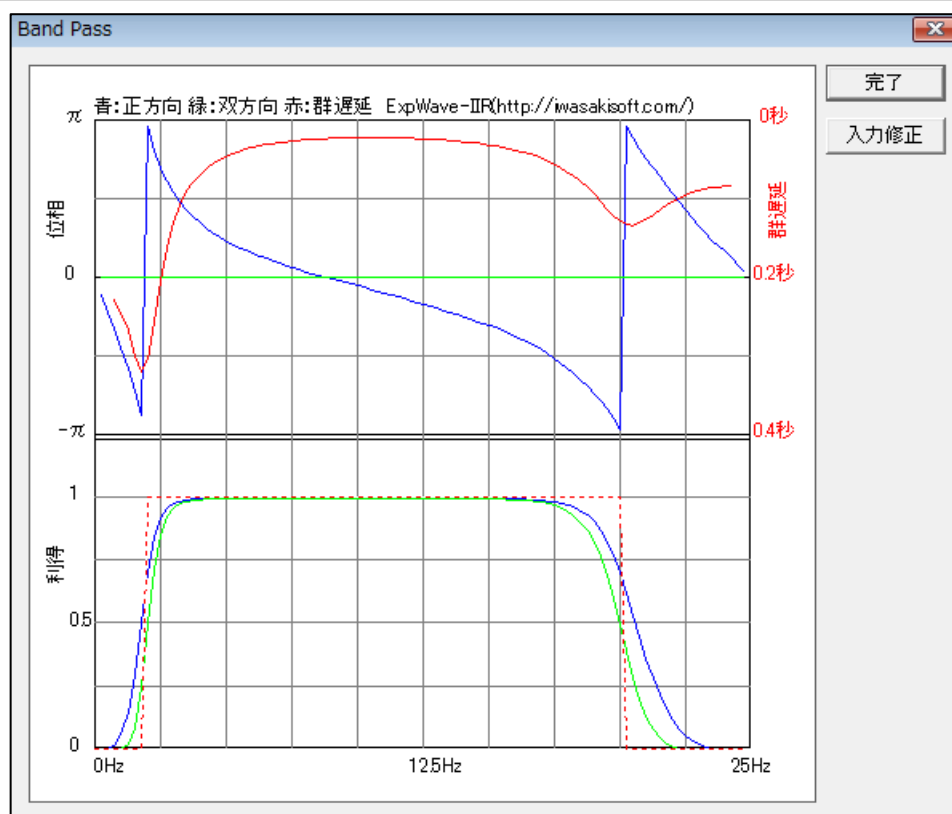



図 5　**Band Pass** フィルタの周波数特性

④Narrow Band Pass/ Narrow Band Reject フィルタの作成

図 **6** に Narrow Band Pass フィルタ設定 Dialog を示します。この場合、次数は、自動的に 2 次となります。また、バンド幅を設定します。この場合のフィルタの周波数応答特性図は、図 **7** の通りです。

図 6　**Narrow Band Pass**　フィルタの設定 **Dialog**

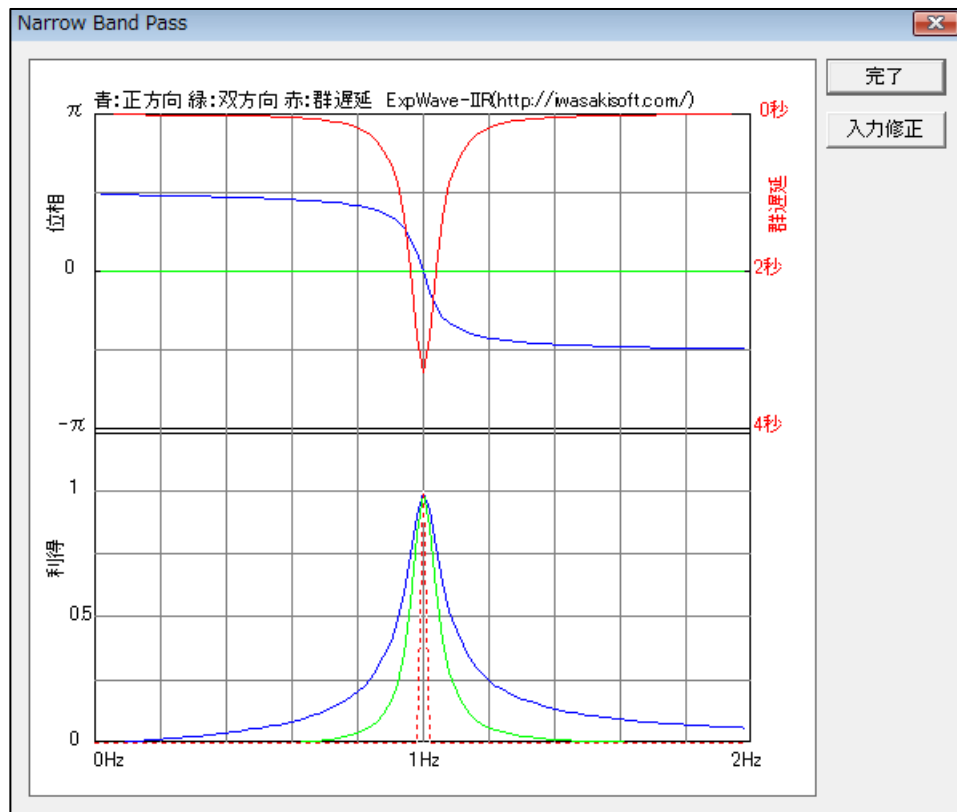



図 **7** **Narrow Band Pass** フィルタの周波数特性

⑤**Single Integral** フィルタの作成

船、自動車などの回転角（回転動揺）を計測する場合、角速度を 1 回積分して求めます。一般に、光ジャイロ、振動ジャイロの角速度計は、船・自動車の 3 方向の加速度に影響されず回転角速度だけの検出が可能です。特に、振動ジャイロは、数万円です。このため、振動ジャイロとローパス付き一回積分フィルタとを組み合わせて、回転動揺の計測に利用されます。

図 **8** にローカット付 1 回積分フィルタ設定 Dialog を示します。この場合のフィルタの周波数応答特性図は、図 **9** の通りです。ここで、赤の点線の利得特性は、設定した希望周波数特性（理想特性）です。ある範囲で特性を満足していることが分かります。また、1 回積分すると、位相が 90 度ずれますが、それを満足していることも分かります。図 **9** から、カット周波数が低い程、遅延時間が小さくて良いことがわかります。従って、角速度計の精度に応じて、出来る限り低いカット周波数を決めます。角速度計は、周波数が低い程、精度が悪くなります。従って、角速度を 1 回積分して角度を求める場合のカット周波数の設定は、角速度計の精度によるので、実際の角速度計のデータを用いて試行錯誤で決めるのがいいでしょう。

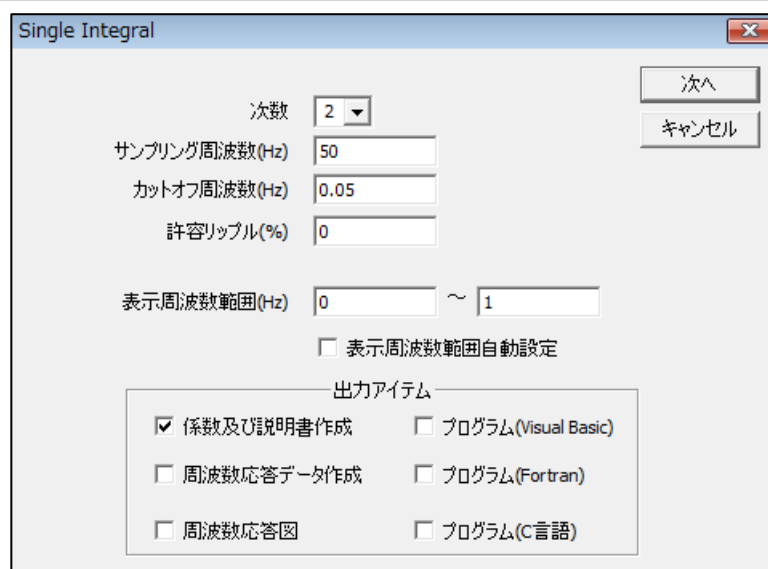



図 8 Single Integral フィルタ設定 **Dialog**

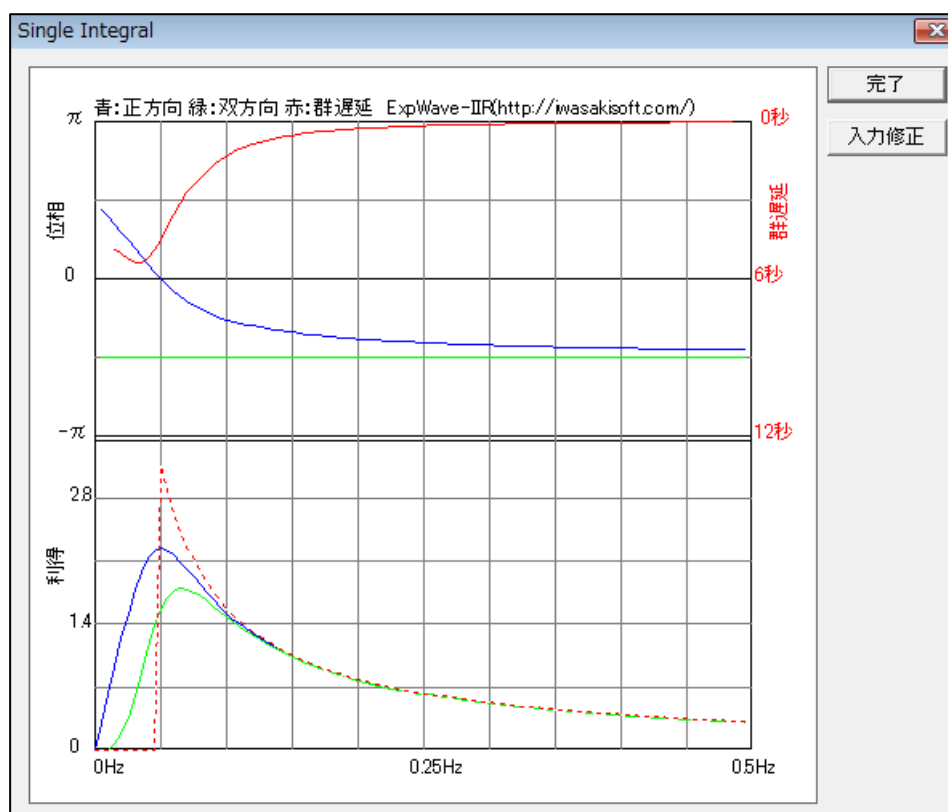



図 9 Single Integral フィルタの周波数特性

⑥**Double Integral** フィルタの作成

図 10 にローカット付 2 回積分フィルタ設定 Dialog を示します。この場合のフィルタの周波数応答特性図は、**図 11** の通りです。

ここで、赤の点線の利得特性は、設定した希望周波数特性（理想特性）です。ある範囲で特性を満足していることが分かります。また、2 回積分すると、位相が 180 度ずれますが、それを満足していることが分かります。**図 11** から、カット周波数が低い程、遅延時間が小さくて良いことがわかります。他方、加速度計は、周波数が低い程、精度が悪くなりま

す。従って、加速度を 2 回積分して変位を求める場合のカット周波数の設定は、加速度計の精度によるので、実際の加速度計のデータを用いて試行錯誤で決めるのがいいでしょう。

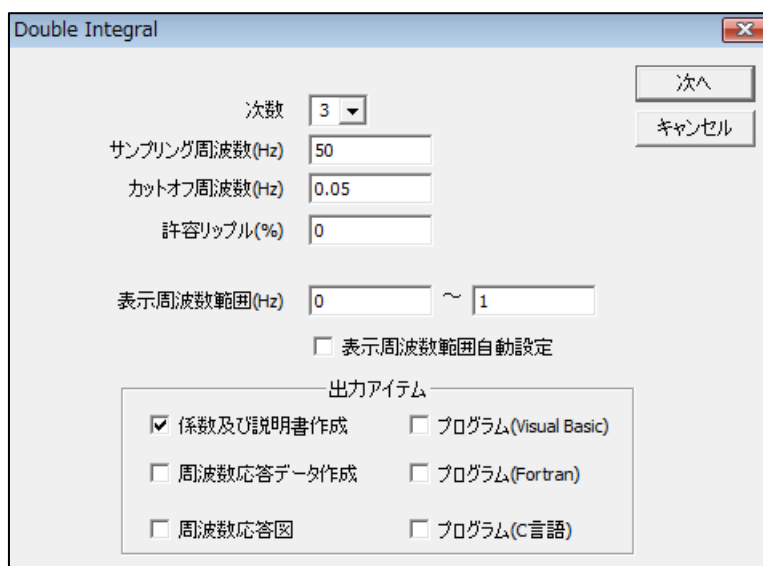



図 10 Double Integral フィルタ設定 Dialog

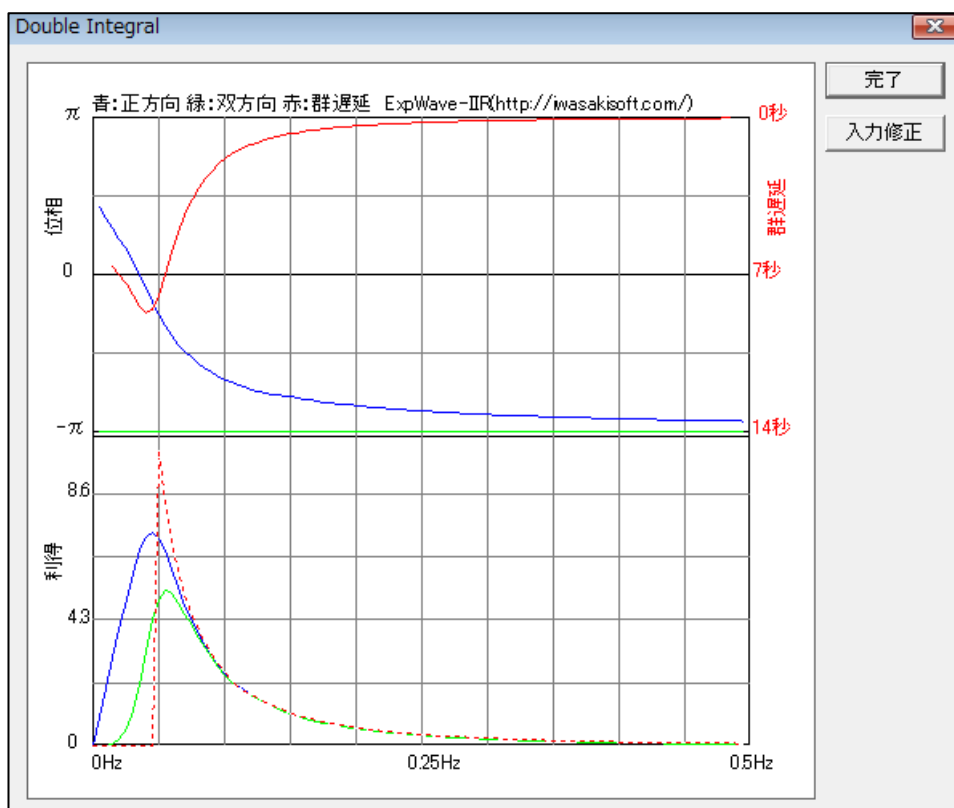



図 11 Double Integral フィルタの周波数特性

⑦Single/Double Integral フィルタの作成

これで作成されるフィルタは、正方向処理は、1 回積分フィルタで、双方向フィルタは、2 回積分フィルタとなっています。**2. ⑨双方向フィルタリングの方法**を参照してください。**図 12** このフィルタの設定 Dialog を示します。この場合のフィルタの周波数応答特性図は、

図 13 の通りです。ここで、赤の点線の利得特性は、設定した希望周波数特性（理想特性）ですが、2 本あります。すなわち、1 回積分（正方向処理）と 2 回積分（双方向処理）です。この場合の双方向処理での逆方向処理は、正方向処理用のプログラムを流用できる特徴があります。従って、位相のずれが完全にキャンセルされることが感覚的に分かります。

図 12　Single/Double Integral フィルタ設定 Dialog

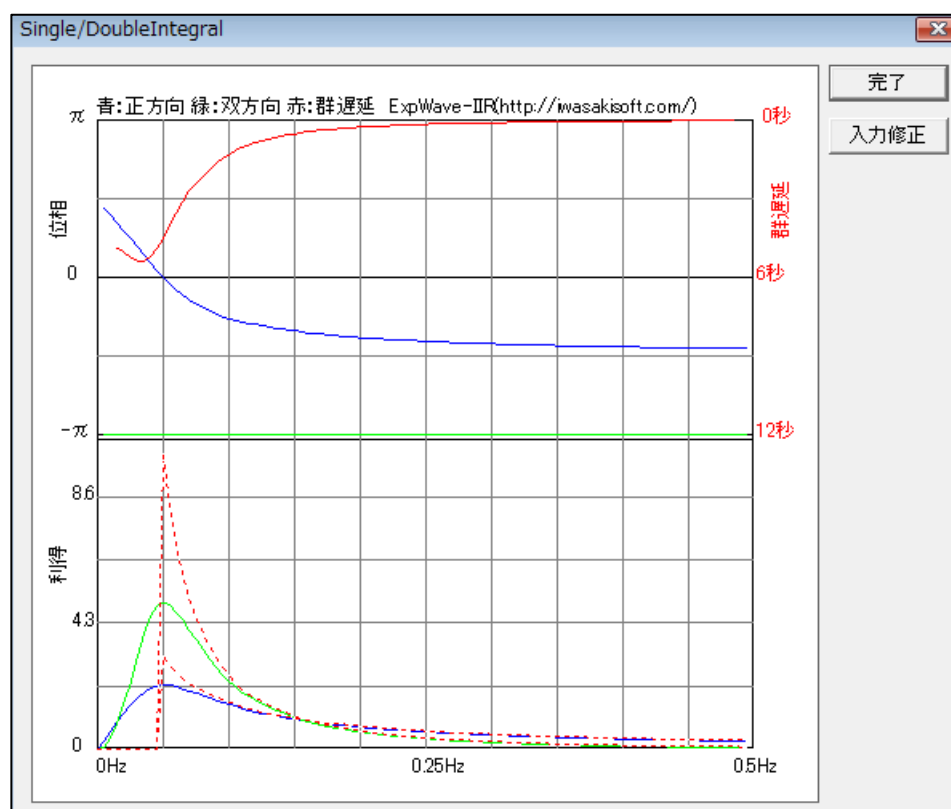



図 13　Single/Double Integral フィルタの周波数特性

⑧１質点相対速度応答フィルタの作成
⑨１質点相対変位応答フィルタの作成
⑩１質点絶対加速度応答フィルタの作成

地震の応答スペクトルは、地震の構造物に対する影響を評価する方法で、地震の強度を表す一つの指標です。応答スペクトルは、構造物を１自由度系の振動体と考え、振動体の固有周期（=１／固有周波数）を変えて、その地震に対する応答の最大値を求め、横軸に固有周期をとり、その固有周期での応答値の最大を縦軸にとって描いた曲線のことです。減衰比ξは、パラメータとなり、ξが変われば応答スペクトルの形状が変わります。一般に、ξ=0.05 が使われることが多い。応答スペクトルには、加速度応答スペクトル、速度応答スペクトル、変位応答スペクトルの３種類があります。

これらのフィルタの入力は、地盤加速度です。また、この計算は、応答計算であり、因果律を犯す双方向処理は、行いません。**図 14**に、１質点相対変位応答フィルタ設定Dialogを示す。地震では、固有周期で扱うが、当Dialogの入力は周波数ですので、変換して入力下さい。**図 15**に、固有周期１秒、ξ=0.05の相対変位応答フィルタの周波数応答を示す。**図 16**に、変位応答波形例を示す。これは、本ソフトで、応答を計算し、結果を Excel に貼り付け図化したものです。

図 **14**　１質点相対変位応答フィルタ設定 **Dialog**

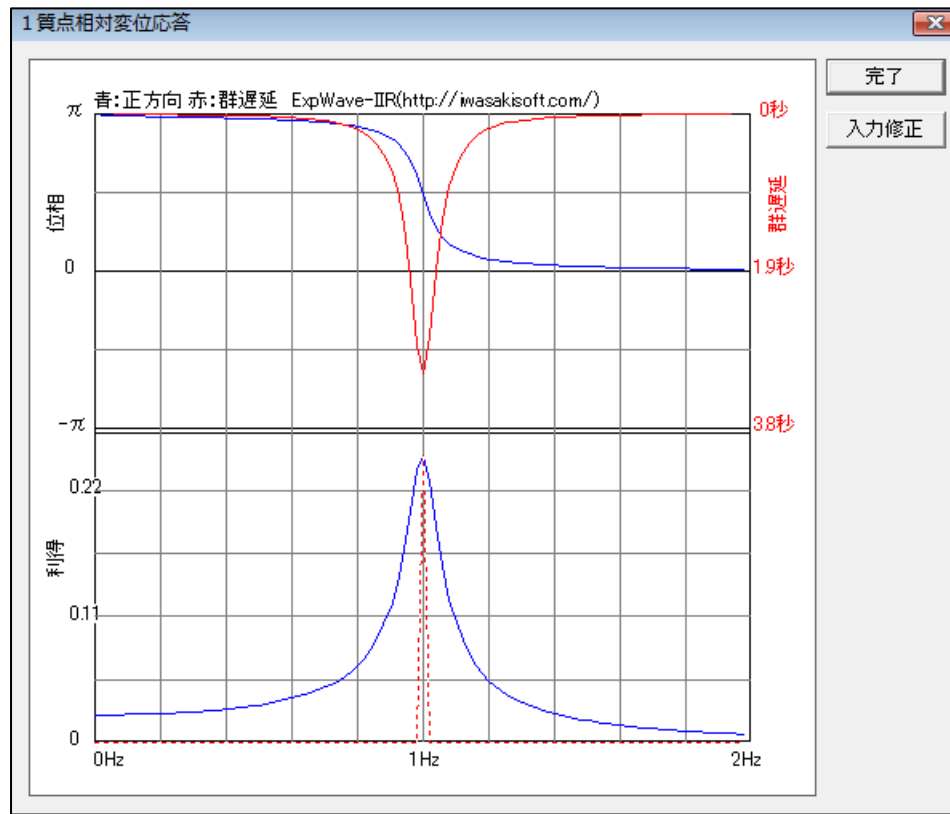



図 15　１質点相対変位応答フィルタの周波数特性

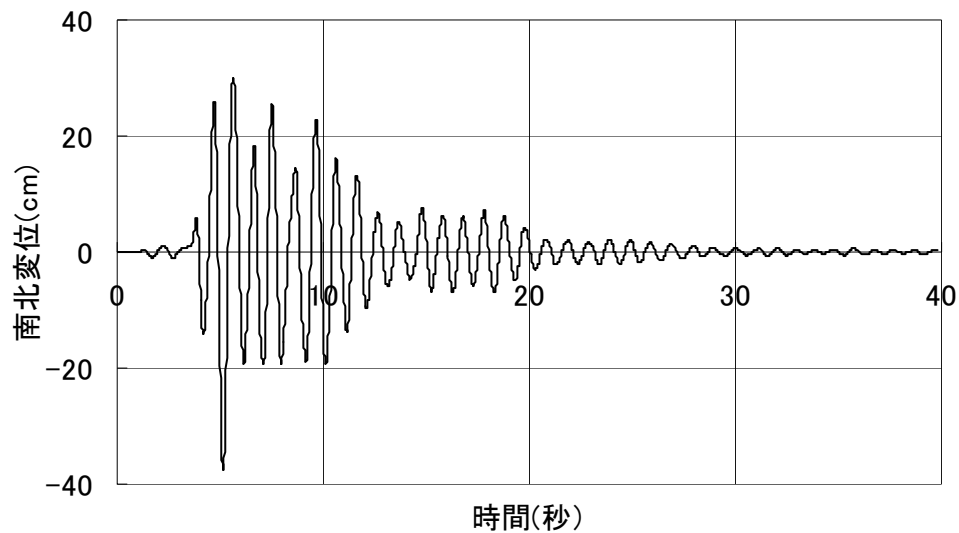



図 16　1995 年兵庫県南部地震の変位応答波形（固有周期１秒、ξ=0.05）（Excel で図化）

⑪フィルタ計算での桁落ち問題

IIR 型フィルタでは、係数の桁が大きく異なり、計算が桁落ちする場合があります。本 ExpWave-IIR は、double で計算しています。例えば、Low Pass フィルタで、次数=7、サンプリング周波数=50Hz、カットオフ周波数=0.1Hz に設定すると、係数は次のようになります。

```
a0 = 3.7592882284942943000000e-016,    b0 = 1.0000000000000000000000e+000
a1 = 2.6362119319993249000000e-015,    b1 = -6.9435272956031113000000e+000
a2 = 7.9080648660521181000000e-015,    b2 = 2.0662756765447131000000e+001
a3 = 1.3151028744844555000000e-014,    b3 = -3.4160845527027448000000e+001
a4 = 1.3135042706360564000000e-014,    b4 = 3.3886360727215838000000e+001
a5 = 7.9181132330991976000000e-015,    b5 = -2.0168667236779207000000e+001
a6 = 2.6342707701834117000000e-015,    b6 = 6.6690143464210747000000e+000
a7 = 3.7585745660619730000000e-016,    b7 = -9.4509177967422886000000e-001
```

また、周波数応答画面は、図 17 のように乱れます。このような場合は、フィルタとして使用できないことに注意して下さい。

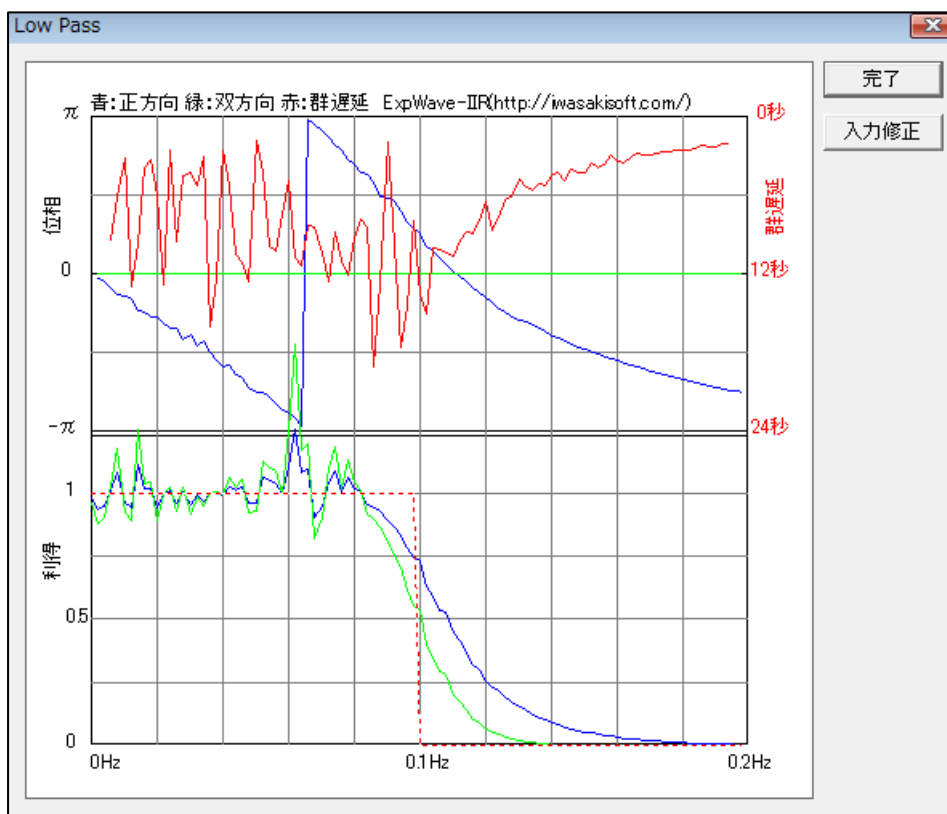



図 17　桁落ちするフィルタの周波数特性

4．出力アイテムの個別作成

フィルタを作成した後で、個別作成メニューを選択すると、選択したアイテムだけがエディタ上に作成されます。フィルタ作成時設定し、エディタ上にあるアイテムは、消去されます。必要なものだけ抽出し、コピー&ペイストで、Word 等取り込む場合に便利です。ただし、インパルス応答と FIR 型フィルタのプログラムは、ここ以外では作成出来ません。

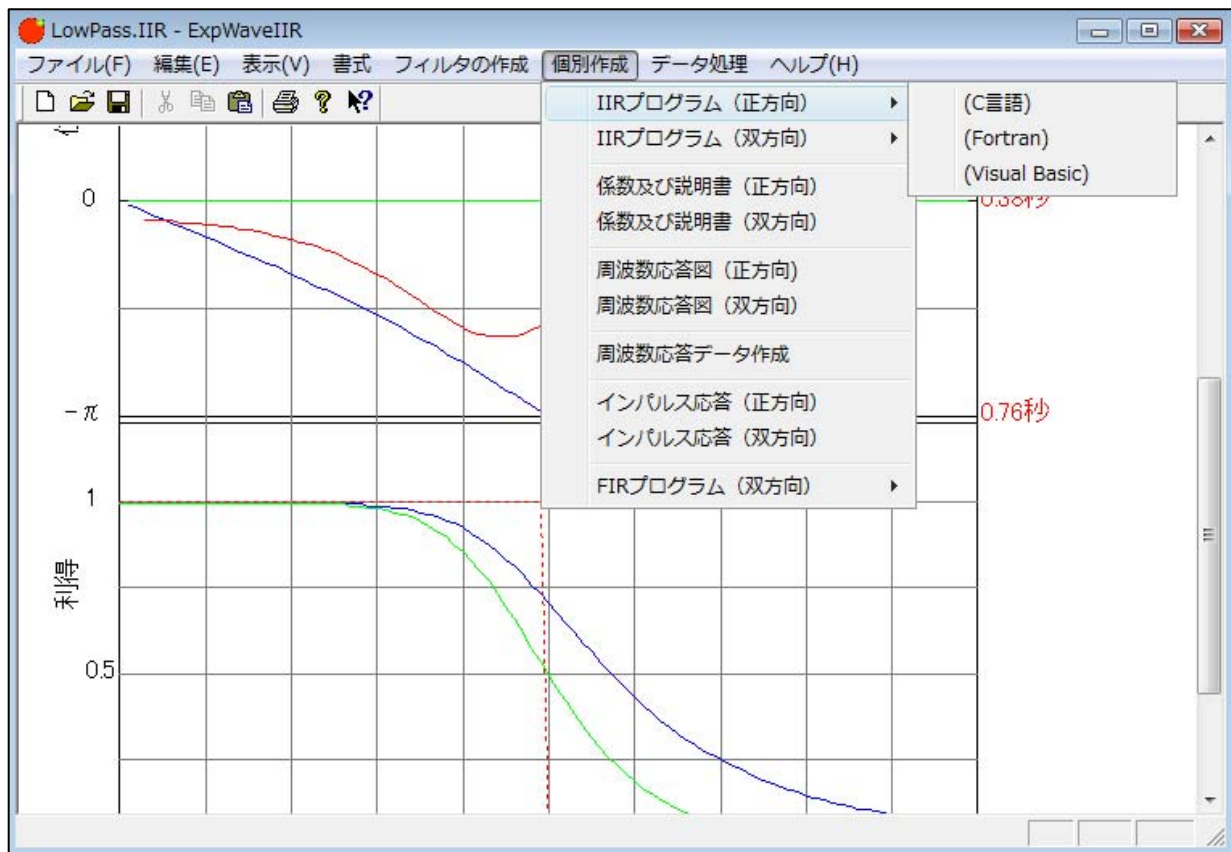



図 18　個別作成メニュー

①インパルス応答（正方向）
一般に、IIR 型フィルタは、理論上無限長のインパルス応答を持つが、実際は、有限長と見なせます。「**8．フィルタリング計算とインパルス応答**」で述べているように、オフライン処理を行う時、インパルス応答長を確認しておく必要があります。

このメニューを選択すると、作成したフィルタのインパルス応答を計算し、その結果をエディタ上に表示します。さらに、それを図化します。**図 19** にローパスフィルタの例を示します。

ただし、計算範囲は、0～＋2490 データです。インパルス応答長が 2490 データ以下の場合、エディタに表示されたインパルス応答の値を用いて FIR(**Finite Impulse Response**)型のフィルタプログラムに変換することも可能です。下部のスクロールバーを移動させると、移動量が、画面に表示されるので、インパルス応答長のおよその長さを知ることが出来ます。また、元の IIR 型フィルタとほぼ同等の性能を有すると考えられるフィルタ長が表示されます。**図 19** 参照。時刻 i での入力データを X_i、出力データを Y_i とし、インパルス応答を、

H_i 、n をインパルス長（データ数=n+1）とする。FIR 型のフィルタ出力データ Y_i は、**式(4)**で表されます。

$$Y_i = \sum_{k=0}^{n}(H_k X_{i-k}) \quad ただし H_i \quad (0 \le i \le n) \qquad ・・・・(4)$$

しかし、この計算は、IIR 型計算法より時間がかかるため、この式を使って、フィルタ出力を FIR 型計算する利点はほとんどありません。

図 19　インパルス応答（正方向）例

②インパルス応答（双方向）
この場合も、作成したフィルタのインパルス応答のデータを計算し、それを図化し、その結果をエディタ上に表示します。**図 20** にローパスフィルタの例を示します。ただし、計算範囲は、-2490～0～+2490 データです。インパルス応答長が±2490 データ以下の場合、エディタに表示されたインパルス応答の値を用いて FIR(**Finite Impulse Response**)型のフィルタプログラムに変換することも可能です。また、元の IIR 型フィルタとほぼ同等の性能を有すると考えられるフィルタ長が表示されます。**図 20** 参照。

一般に、双方向の場合のインパルス応答は、対象です。時刻 i での入力データを X_i、出力データを Y_i とし、インパルス応答を H_i 、n を片側のインパルス応答長（データ数=n+1）とする。出力データ Y_i は、**式(5)**で表されます。

$$Y_i = \sum_{k=-n}^{n}(H_k X_{i-k}) \quad ただし H_i \quad (-n \le i \le n) \qquad ・・・・(5)$$

IIR 型の位相ひずみの無い双方向フィルタリングの方法は、オフラインでしか使用で出来ないが、FIR 型に変換すると、インパルス応答の片側長分の時間の遅れを持つ、リアルタイ

ムフィルタリングが可能になり、無歪みのフィルタリングが可能になります。

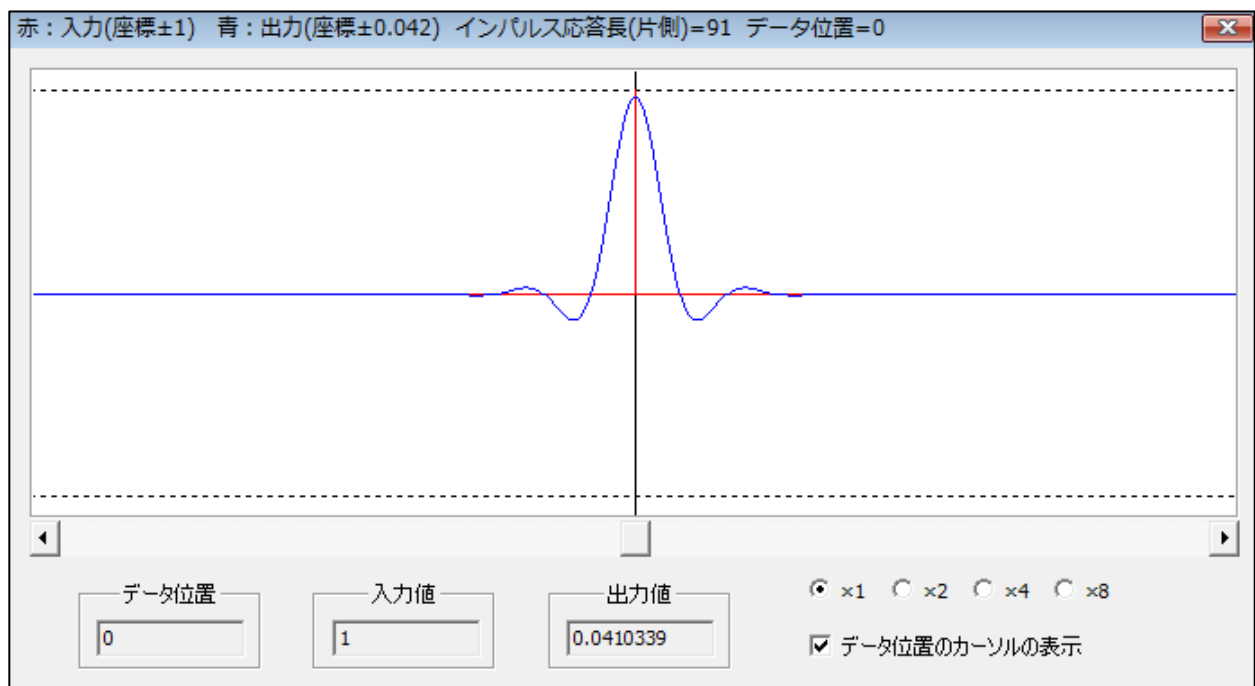



図 **20**　インパルス応答（双方向）例

③FIR 型フィルタのプログラムの作成

ExpWave-IIR で作成できる IIR 型ディジタルフィルタとほぼ同じ特性を持つ、図 **20** で示す対称 FIR 型ディジタルフィルタを作成します。(インパルス応答長が 2490 個以上の場合は、除きます。)　これにより、少し遅れを持つリアルタイム型で無歪みのフィルタリングが行えるようになります。この遅れは、インパルス応答長（片側）に相当する時間の遅れです。FIR 型フィルタのプログラムソースリストを作成するには、【FIR プログラム(C 言語)】、【FIR プログラム(Fortran)】、【FIR プログラム(Visual Basic)】のいずれかのメニューを選択します。すると、指定した言語で記述された呼出し例題付のソースリストがエディタ上に出力されます。Visual Basic 版は、Excel で処理できるようになっています。

ExpWave-IIR のこの機能を用いれば、FIR 型フィルタが作成できますが、あくまでも IIR 型を FIR 型に変換するものです。一般的にインパルス応答長が長くなります。姉妹品の ExpWave-FIR を使用すると、インパルス応答長を変えたり、減衰特性を変えたり、任意特性のフィルタを作成でき、より効率的な FIR 型フィルタの作成が可能になります。FIR 型のフィルタ作成には、ExpWave-FIR を使用されることをお薦めします。

5．データ処理

データ処理をするためには、【フィルタが作成されていること】と、【入力データが読込まれている】もしくは【試験波が作成されている】必要があります。また、入力データのサンプリング周波数は、フィルタを作成した時のサンプリング周波数になります。処理内容は、図 21 のメニューに示します。各メニューを実行すると、関係の数値データがエディタに現れます。必要なら、このデータを使って EXCEL で図化することも出来ます。

①入力データの読込
空白文字（スペース、タブ、改行）で、分けられた時系列データのファイルを読み取ることができます。データ数は、最大 10,000 個です。読込んだデータは、番号が付加され、エディタ上に表示されます。番号とデータの区切りは、【TAB】区切りですので、EXCEL にコピー&ペイストして貼り付けることができます。一度データが入力されると、メニューの先頭にチェックマークが付加されます。図 21 参照。

図 21　データ処理メニュー

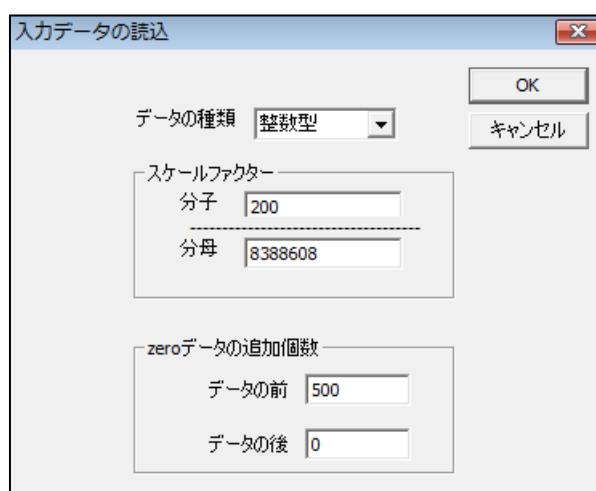



図 22　データ処理メニュー

データを読込む時、図 22 のスケールファクター等の設定ダイアログが現れます。スケール

ファクターの初期値は、入力データ(地震)読込の場合、**図 22** となります。単なる読込の場合は、分子と分母が１となります。また、ゼロデータの追加も設定できます。

②試験波の作成
任意の周波数の SIN 波を作成することができます。メニューをクリックすると、**図 23** の Dialog が現れるので、試験波の周波数を設定します。サンプリング周波数は、作成したフィルタのサンプリング周波数になります。

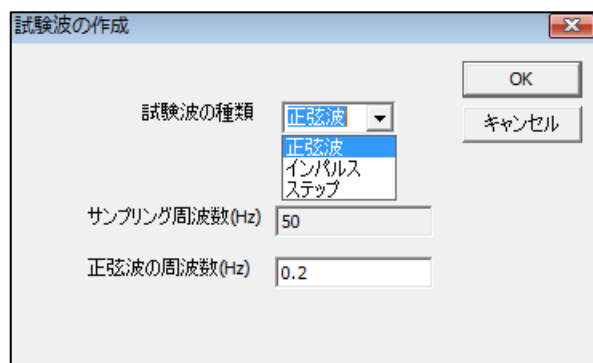



図 23 試験波の周波数の設定

③データ表示&番号有無切替
読込んだ直後は、データに番号が自動的に付加されています。このメニューを選択すると、この番号を除いたり、付加したり切り替えることが出来ます。このエディタ上のデータは、【ファイル】⇒【名前を付けて保存】を用いて保存できるので、この機能でデータ保存様式を変えることができます。

④スペクトル解析
図 24 にスペクトル解析の結果を示します。スペクトルは、フィルタの周波数応答特性図の上に紫で描かれます。従って、周波数表示範囲を変える時は、フィルタ作成に戻って、周波数応答特性図の周波数表示範囲を変えてください。また、スペクトルの表示は、表示される周波数範囲での最大値を 1 として自動縮尺表示しています。従って、周波数表示範囲の設定によっては、スペクトルの表示の大きさが異なることがあります。ただし、エディタ上には、表示範囲でのパワースペクトル密度値が表示されます。

このように、フィルタの周波数応答特性図の上に描かれるため、フィルタとのデータの周波数特性が比較できます。フィルタが対象とするデータサンプルが入手できる場合、この機能は、フィルタ定数の設定に大いに役立つと思われます。また、この図は、Dialog のコピーボタンをクリックすると、クリップボードにコピーされます。Word に貼り付けできます。**図 25**、**図 26** は、この方法で Word に貼り付けた図です。

⑤正方向フィルタリング
フィルタ作成時に試験波を用いてフィルタの設定値を評価するために用います。**8．フィルタリング計算とインパルス応答**で示すように、出力の有効な範囲は、データ処理開始から、インパルス応答（片側）長経過後有効になります。波浪データのように、連続したデータから切り出して入力データが作られた場合は、出力の最初のデータからインパルス応答（片側）長分を削除する必要があります。インパルス応答長は、**6．インパルス応答（正**

方向）で確かめておきましょう。（もちろん、リアルタイム型 IIR フィルタで連続処理している場合は、計測開始時だけの問題で、通常問題になりません。）

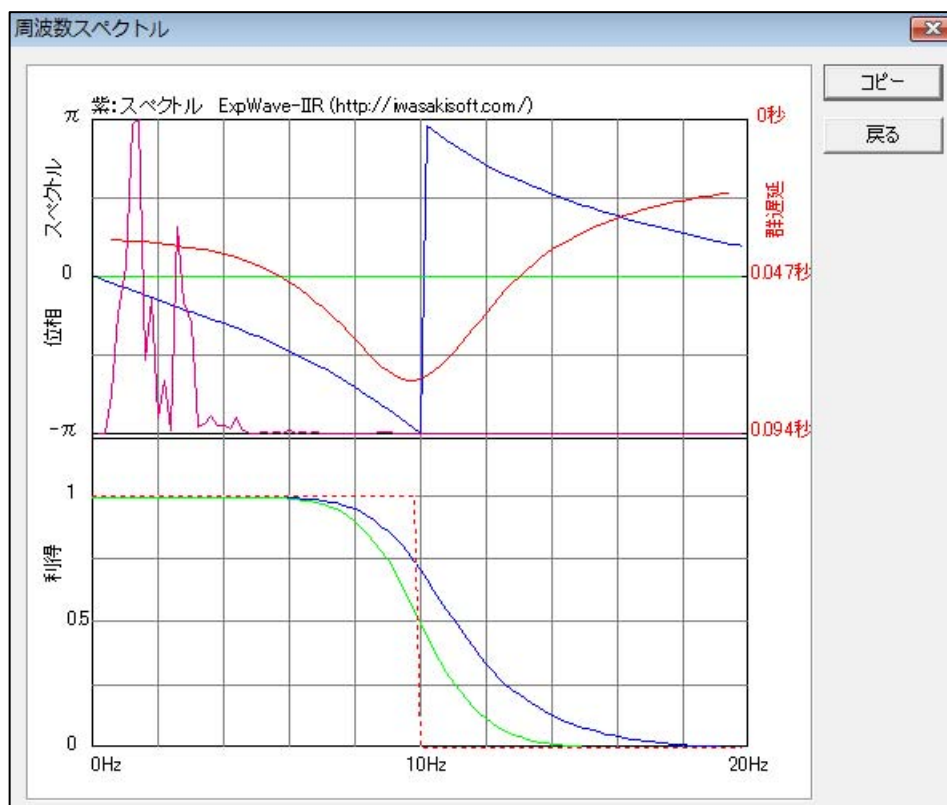



図 **24** スペクトル解析結果

また、この処理は、入力データの開始時刻から過去への無限の範囲のデータを全てゼロとして、処理を開始します。従って、地震波のように、ゼロが続く状態で、地震の発生し、やがてゼロに収束する場合は、地震波形より前のゼロ部分のデータが無くても、ゼロが存在したとして処理します。この場合は、インパルス長分の削除が不必要で、出力の最初から正しい値が得られます。

この処理の例として、**JMA KOBE** 1995 NS の加速度波形の 1 回積分を行い、速度を求めてみましょう。（JMA KOBE は、1995 年兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)の神戸海洋気象台での観測記録です）
先ず、1 回積分のフィルタを選択、設定します。次に、入力データの読込をクリックします。次に、本ソフトによるスペクトル解析すると、**図 25** になります。全体のスペクトルを見たい場合は、フィルタの設定で、表示範囲を変更し、再度スペクトル解析すると、**図 26** となります。また、フィルタのカットオフ周波数は、0.05Hz に設定してあります。この図からわかるように、スペクトルの大部分が 0.05Hz 以上の成分で、遅延時間の少ない領域にあります。次に、正方向処理をクリックすると、**図 27** が得られます。

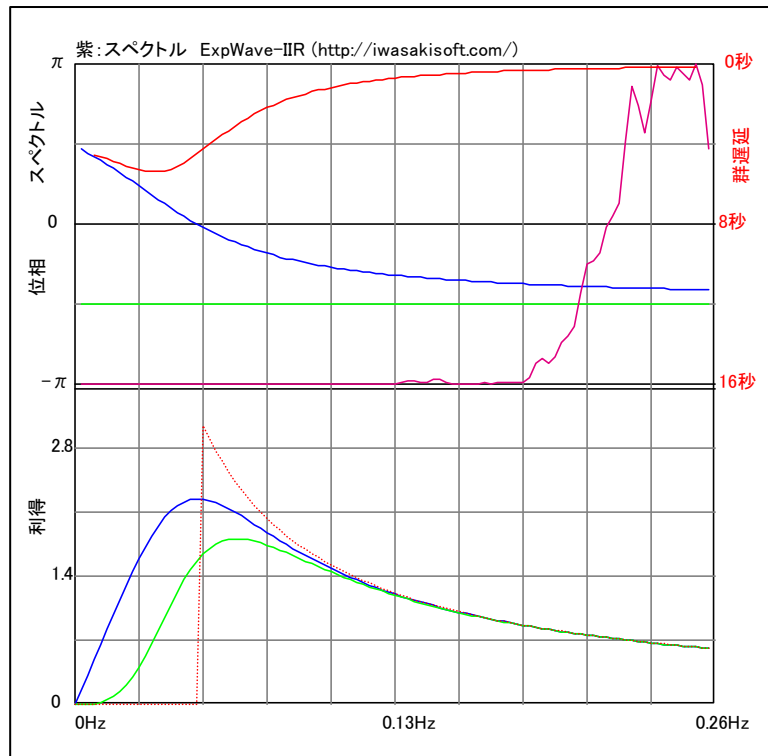



図 25　**JMA KOBE NS** スペクトル解析結果（拡大）

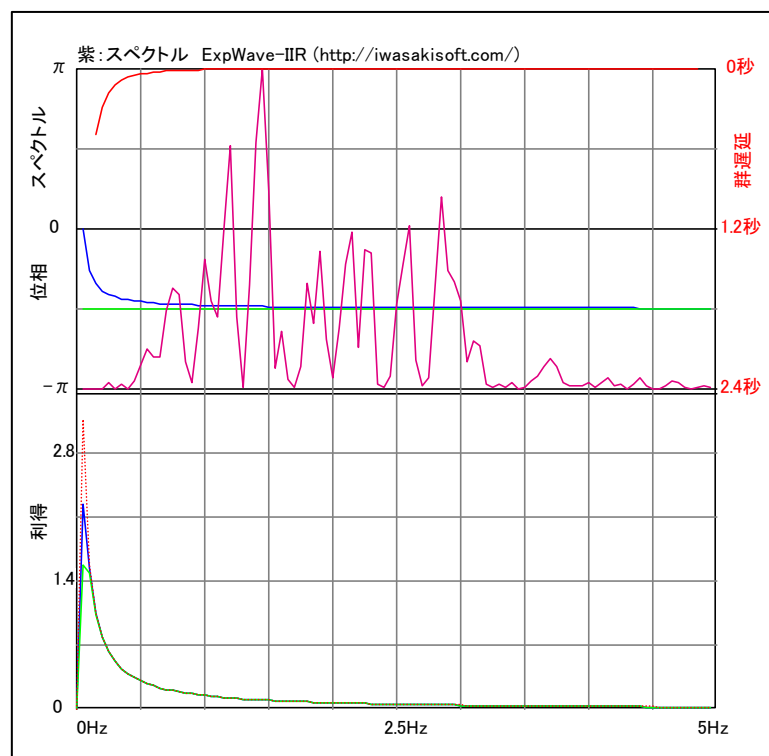



図 26　**JMA KOBE NS** スペクトル解析結果（全体）

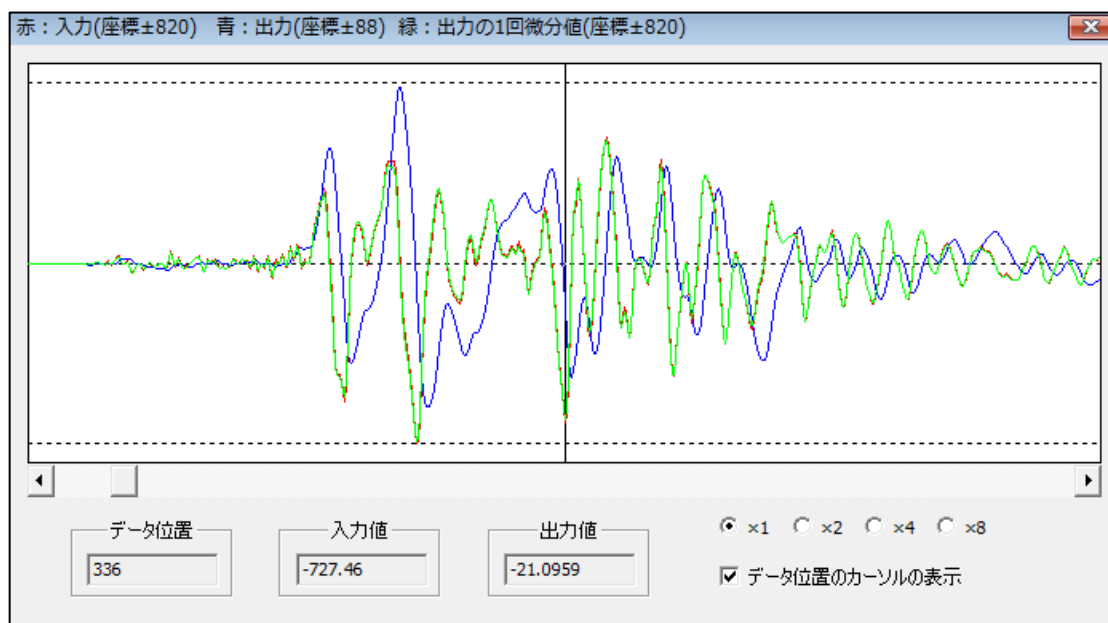



図 27 1 回積分正方向処理結果（1）
（リップル%=0.、カットオフ周波数 0.05Hz）

カットオフ周波数の設定は、正方向処理と双方向処理では、異なります。正方向の場合は、リアルタイム性を良くするため、遅延時間に注目します。すなわち、スペクトルの主要な成分が遅延時間の少ない領域に存在するようします。しかし、センサーの精度以上に、カットオフ周波数を低く設定しすぎると、発散するようになります。

図 28 1 回積分正方向処理結果（2）
（リップル%=0.、カットオフ周波数 0.05Hz）

図 27 で赤色が入力で、青色が入力を 1 回積分したフィルタ出力です。緑色は、検証のため、出力を微分したものです。もし、完全な 1 回積分が行われていると、入力と緑が一致し、

上書きの緑色になります。図 27 がほぼ一致していることから、遅れの時間が非常に少ないことが分かります。また、図 28 から、積分結果が収束しており、発散せずに安定に積分が行われていることが分かります。

検証用の出力の 1 回微分計算は、式(6)を用いています。ただし、Z_i を微分値、Y_i を出力値とする。この式は、5 次ラグランジェの内挿公式を用いて求められたものです。

$$Z_n = \frac{1}{12\Delta t}\left(Y_{n-2} - 8Y_{n-1} + 8Y_{n+1} - Y_{n+2}\right) \quad \cdots\cdots (6)$$

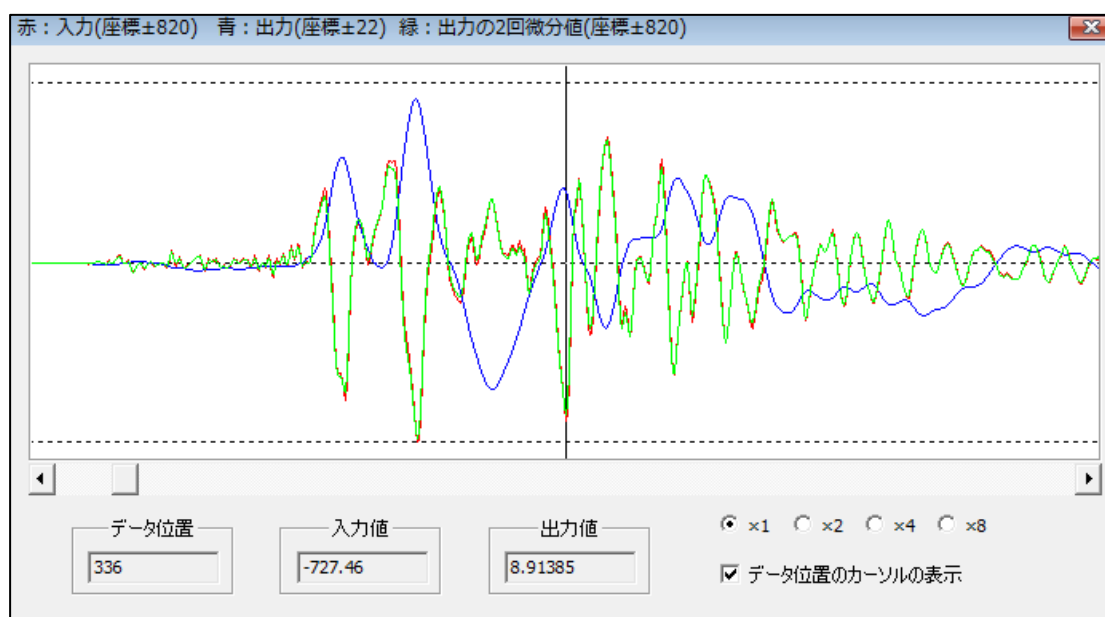



図 29　2 回積分正方向処理結果（1）
（リップル%=0.、カットオフ周波数 0.05Hz）

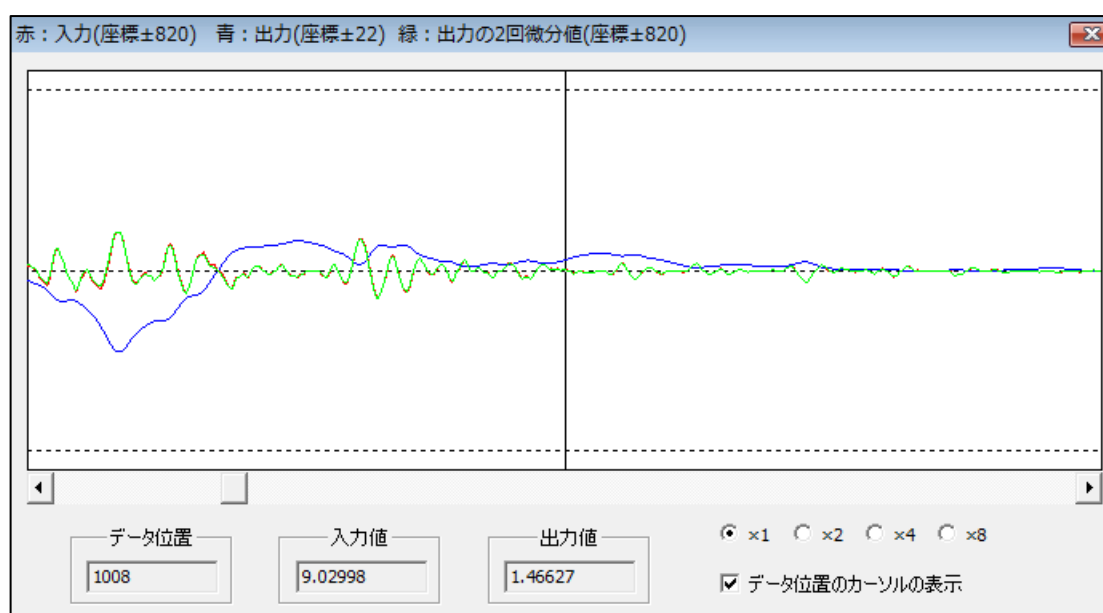



図 30　2 回積分正方向処理結果（2）
（リップル%=0.、カットオフ周波数 0.05Hz）

図 29、**図 30** に 2 回積分正方向処理の結果を示します。検証用の出力の 2 回微分計算は、**式(7)**を用いています。

$$Z_n = \frac{1}{12 \cdot \Delta t^2}\left(-Y_{n-2} + 16Y_{n-1} - 30Y_n + 16Y_{n+1} - Y_{n+2}\right) \cdot\cdot\cdot\cdot (7)$$

⑥双方向フィルタリング

双方向処理では、遅延時間がゼロとなり、より忠実に積分が行われます。1 回積分正方向処理（**図 27**、**図 28**）と同じカット周波数を用いて処理すると、**図 31**、**図 32** が得られます。緑色の検証データは、赤の入力にほぼ完全に一致していることが分かります。
このフィルタリング処理は、フィルタ作成時に試験波を用いてフィルタの設定値を評価するためにも用いることができます。**7．フィルタリング計算とインパルス応答**で示すように、出力の有効な範囲は、出力データの両端の部分を削除した中間部分の範囲です。この２つの削除部分の長さは、それぞれインパルス応答（片側）長になります。
例えば、波浪データのように、連続したデータから切り出して入力データが作られた場合は、出力の最初と末尾からインパルス応答（片側）長分を削除する必要があります。インパルス応答長は、**4．② インパルス応答（双方向）**で確かめておきましょう。

また、この処理は、入力データの開始時刻から過去への無限の範囲のデータを全てゼロ、及び、データ末尾から未来への無限の範囲のデータを全てゼロとして、処理を開始します。従って、地震波のように、ゼロが続く状態で、地震の発生し、やがてゼロに収束する場合は、地震波形より前後のゼロ部分のデータが無くても、ゼロが存在したとして処理します。この場合は、インパルス長分の削除が不必要で、出力の最初から正しい値が得られます。
（ただし、地震波の前後にゼロデータを加えた方が良い場合があります。）

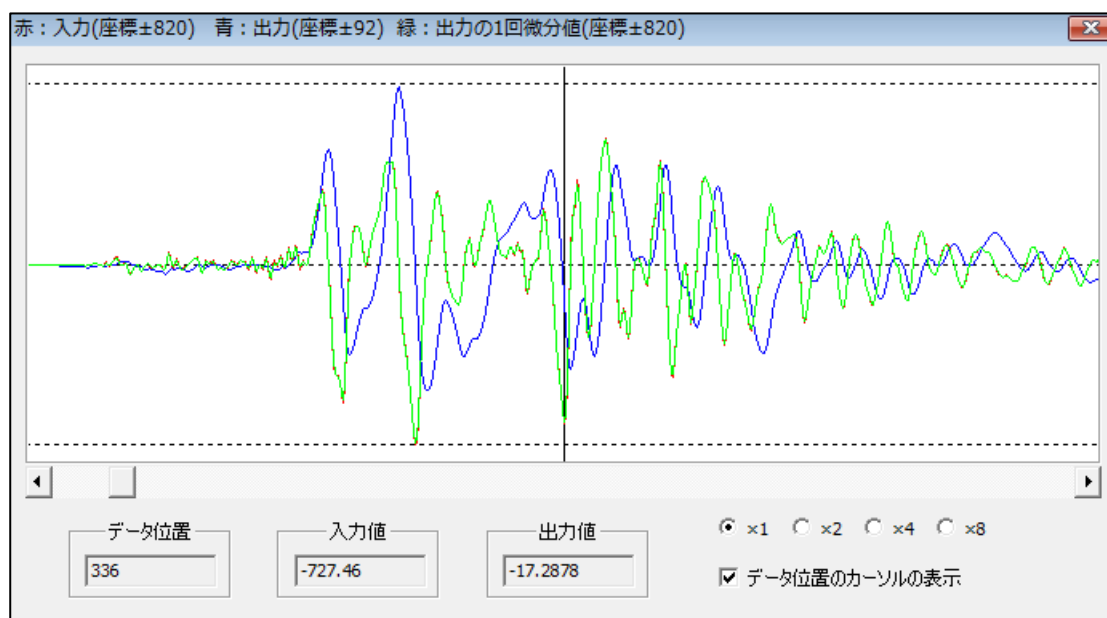



図 31　1 回積分双方向処理結果（1）
（リップル%=**0.**、カットオフ周波数 **0.05Hz**）

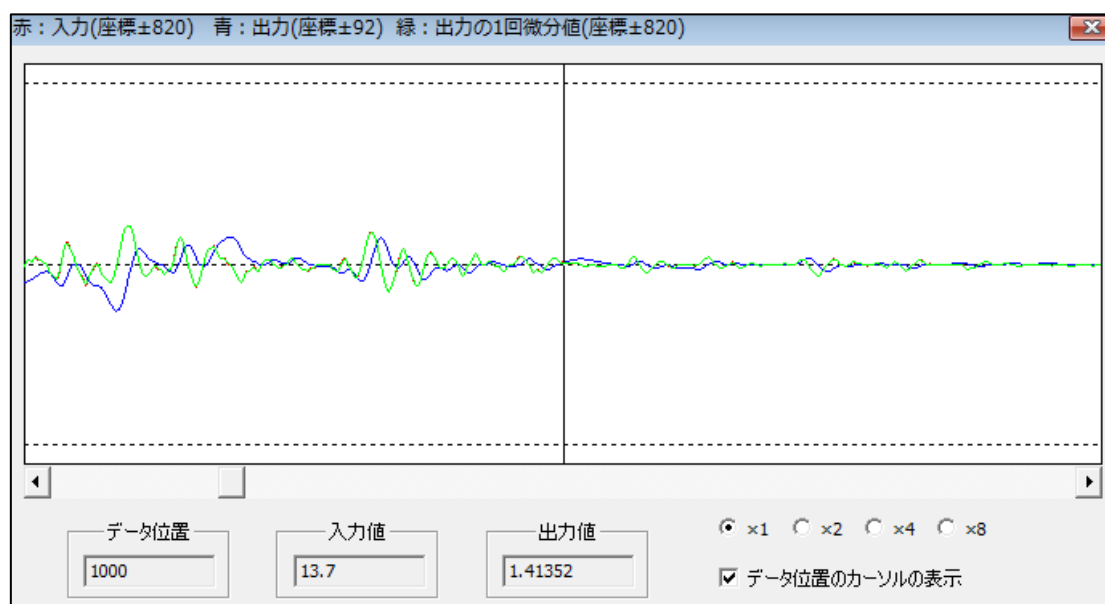



図 32　1 回積分双方向処理結果（2）
（リップル%=0.、カットオフ周波数 0.05Hz）

双方向処理の場合、カットオフ周波数の設定は、スペクトルの主要な成分がフィルタ利得（緑）と理想の利得（赤点線）が一致している領域にあることが重要です。
このようにすると、カットオフ周波数を上げることができ、より安定なフィルタを作成できます。安定なフィルタは、センサーの精度の要求を下げることができます。また、リップル%を 0.3～0.5（チェビシェフフィルタ）に設定することにより、フィルタ利得（緑）と理想の利得（赤点線）が一致している領域を広げることができます。この場合、正方向処理では、遅延時間が増えますが、双方向処理では、問題がありません。

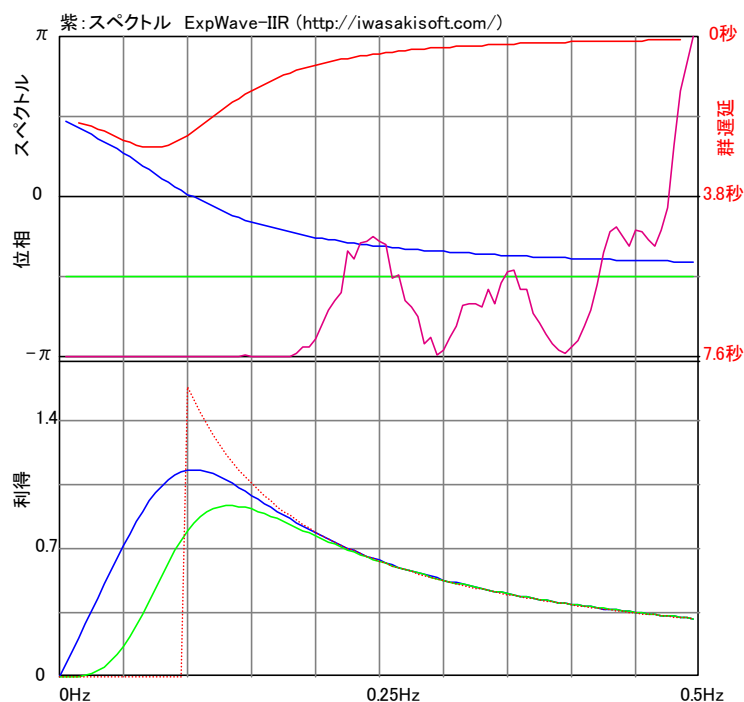



図 33　1 回積分フィルタの周波数特性
（リップル%=0.5、カットオフ周波数 0.1Hz）

図 **32** にこの考えに従い作成した 1 回積分フィルタの周波数特性を、図 **33** に処理結果を示します。カットオフ周波数を上げても、図 **31** と同等の結果が得られます。

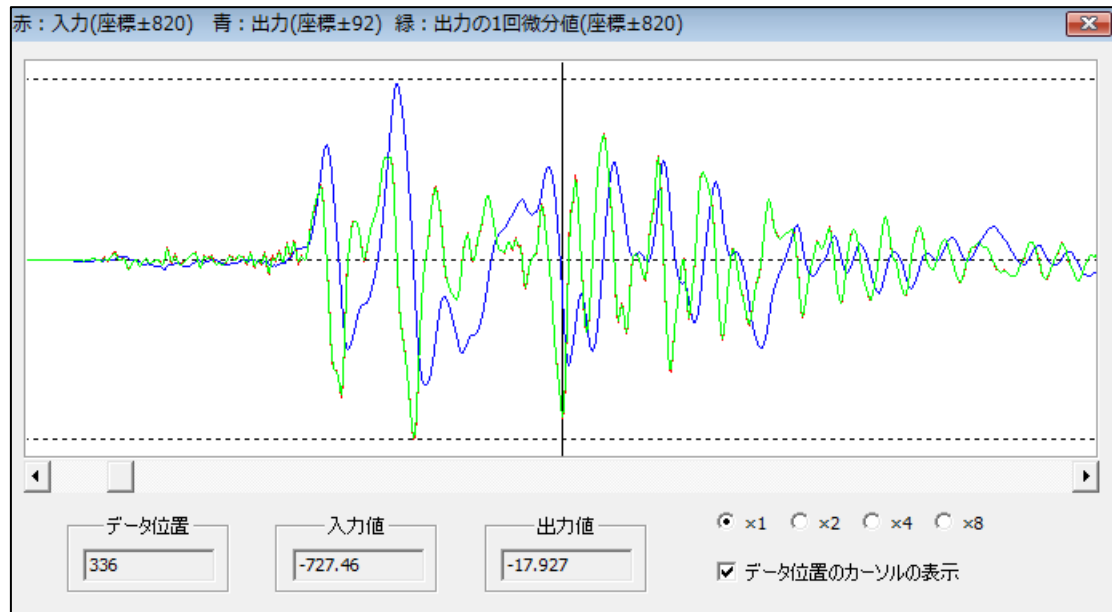



図 **34**　**1** 回積分フィルタ双方向処理結果
（リップル%=**0.5**、カットオフ周波数 **0.1Hz**）

６．Excel でフィルタリング処理

メニューの 【フィルタの作成】⇒出力アイテムで【プログラム（**Visual BASIC**）】を選択するか、【個別作成】⇒【プログラム（**Visual BASIC**）】を選択します。**ExpWave-IIR** は、出力として、フィルタ処理プログラムを BASIC 言語で作成します。この機能を用いると、Excel でデータ処理（フィルタ処理）ができます。

Visual BASIC 言語のプログラムを出力し、これを、Excel の VB（Visual BASIC）のプログラムシート（Excel で、【ツール】⇒【マクロ】⇒【Visual Basic Editor】で現れるシート）に貼り付けます。

これを、実処理に使うには、例題プログラムのコメントに記述されている黄色で表示した部分を修正します。次の文の 2400 を処理するデータ数に合わせます。そして、スプレッドシートの C の 5 行目から、入力データを入れ、プログラムの Sub main() から実行すると処理ができます。

```
                    .
                    .
                    .
'*-----------------------------------------------------*
'   試験データの作成
 NDATA=2400-1           '①>>>>>>>>>試験データの数+1
 For KK = 0 To NDATA
   T = KK * DeltaT
'   XS = Cos(2# * 3.1415 * CUTFQ * T)   '②>>>>>>>>>試験データ
   Cells(KK + 5, 1).Value = KK        'A列
   Cells(KK + 5, 2).Value = T         'B列
'   Cells(KK + 5, 3).Value = XS       'C列  ③>>>>>>>>>試験データの代入
 Next KK
 '*------------------------------------*
 'この試験データで試験する時は、
 '  ②③の文の先頭のコメント記号 ' を削除してください
 '*------------------------------------*
 'このプログラムを、実際の処理に利用する場合は、
 '  処理するデータをC列の５番目から貼り付けて、
 '  処理するデータ数を①の文のNDATAに設定してください
 '*-----------------------------------------------------*
                    .
                    .
                    .
```

7．フィルタリング計算とインパルス応答

フィルタリング計算は、基本的には、コンボルリューション（畳込み計算）です。従って、FIR 計算が基本的考え方です。すなわち**式(5)**が基本的畳み込み計算です。
IIR 法によるフィルタリング計算も、FFT（高速フーリエ変換）によるフィルタリング計算も基本は、同じです。従って、次の点に注意が必要です。

①IIR 正方向フィルタリング出力の有効範囲
この場合のインパルス応答は、**図 19** のように未来に対しての応答です。そしてインパルス応答の長さを n データ数とする。**式(4)**ので現在フィルタ出力 Y_i が正しく計算されるには、現在の時刻より n データ過去のデータから現在までのデータが必要です。すなわち、m 個の出力データが必要な場合は、$m+n$ の入力データが必要です。これを図示すると**図 35** のようになります。一般的に、IIR 型フィルタは、「電源を入れて連続的に出力させる」使い方をするのが多い。このような場合、この問題は、通常問題にならない。しかし、オフラインで計算する時等は、データ量が限られるので、必ずインパルス応答の長さを確認しておく必要があります。もし、必要な長さのデータが得られない場合は、プログラム開始時に、次数分の入出力の変数値をゼロの値に設定するので、インパルス応答長より長いゼロをもつデータが過去にあったことにして計算することになります。従って、データを入手する場合は、十分注意する必要があります。

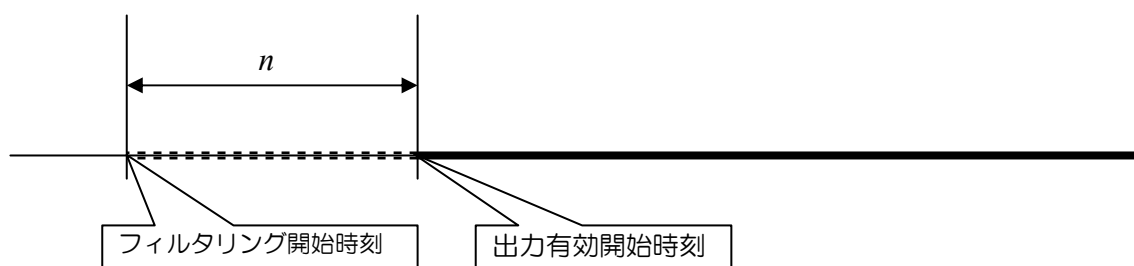



図 35　出力が有効になる時刻

②IIR 双方向、対称 FIR フィルタリング出力の有効範囲
この場合のインパルス応答は、**図 20** のような過去と未来に対して対象な応答です。そしてインパルス応答の長さを n データ数とする。**式(5)**ので現在フィルタ出力 Y_i が正しく計算されるには、現在の時刻より n データ過去のデータから現在、さらに現在から n データ未来までのデータが必要です。これを図示すると**図 36** のようになります。従って、データを入手する場合は、十分注意する必要があります。

また、IIR 双方向の場合で、正逆方向で同じフィルタを用いる場合、逆方向に計算する時は、入出力の変数値に過去からの影響を記憶しているので、一度リセット（次数分の入出力の変数値をゼロの値に設定する）する必要があります。

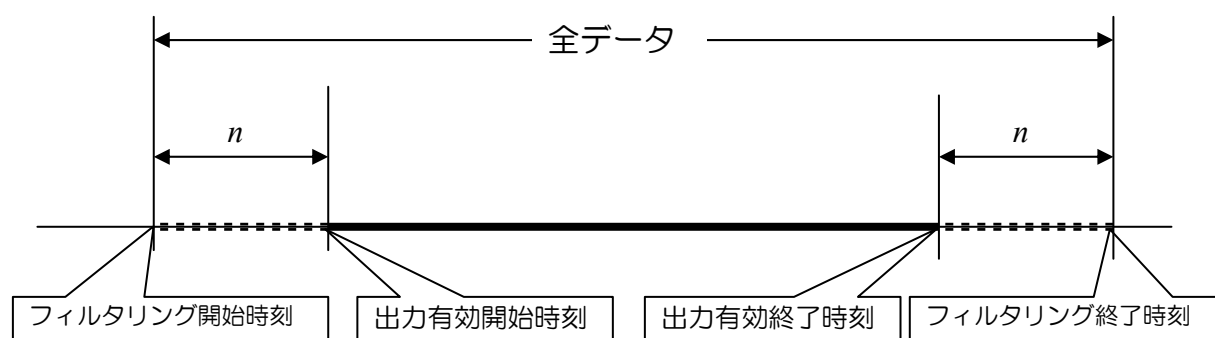



図 **36**　出力が有効になる時間範囲

③FFT によるフィルタリングの問題点

あるデータを FFT でフーリエ変換し、必要な周波数成分を残し逆変換して波形を求める。これで、バンドパスの処理が出来ていると考えていませんか？　FFT による計算も、図 **36** の関係にあります。従って、得られた波形の両端部を除く必要があります。この場合のバンドパスの特性は、急激に減衰するので、インパルス応答長が非常に長くなる。従って、インパルス応答長を考えないで、フィルタリング処理することは非常に危険です。
一般に、急峻減衰特性は、インパルス応答長が長くなり、緩やかな減衰特性は、インパルス応答長が短くなります。

従って、このようなオフラインのフィリタリング処理は、インパルス応答長を考えた、IIR 型双方向処理又は FIR 型のフィルタによる処理が望ましい。
一般に、FIR 型フィルタの作成は、インパルス応答長と減衰特性がトレードオフの関係にあるため、試行錯誤でフィルタを決定する。岩崎ソフトの姉妹品である **ExpWave-FIR** は、この試行錯誤ができ、FIR 型フィルタの作成（ソースレベル）とフィルタリング処理が可能になっています。

８．ファイルの保存・読込

保存と読込めるファイルの種類は、３種類あります。

①IIR ファイル

拡張子が IIR のファイルです。これは、ファイル作成での設定値を記憶するファイルです。

②rtf ファイル

拡張子が　rtf のリッチテキストファイルです。エディタ画面のテキストと周波数応答特性の図が保存可能です。また、Word、WordPad で読込可能です。

③txt ファイル

拡張子が　txt のファイルです。エディタ画面のテキストのみ保存されます。周波数応答特性の図は、保存されません。また、Word、WordPad、メモ帳で読込可能です。

④ファイルの保存

ファイルを保存するには、【ファイル】⇒【名前を付けて保存】で行います。どの形式で保存するかは、名前を付けて保存 Dialog で表示される【ファイルの種類】の窓で選択します。

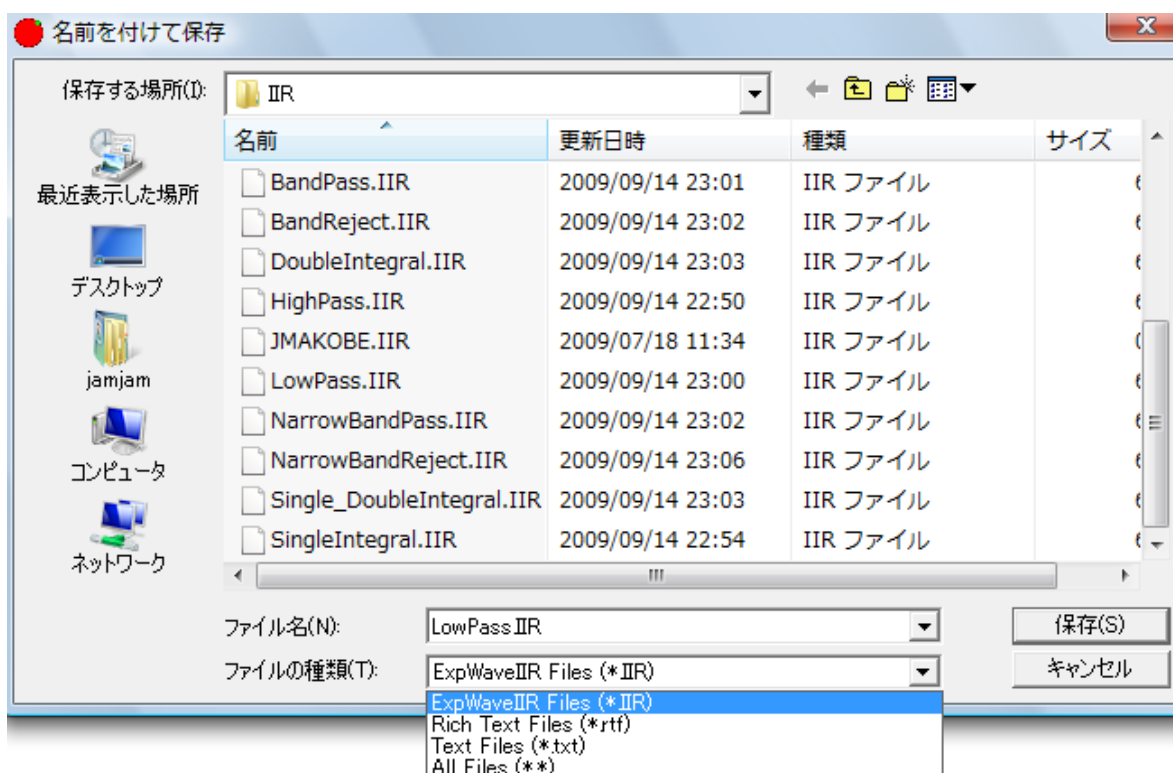



図 37　３種類のファイルの保存

⑤ファイルの読込

ファイルを読込むには、【ファイル】⇒【開く】で行います。また、どの形式のファイルを読込むかは、【ファイルを開く】Dialog で表示される【ファイルの種類】の窓で選択します。

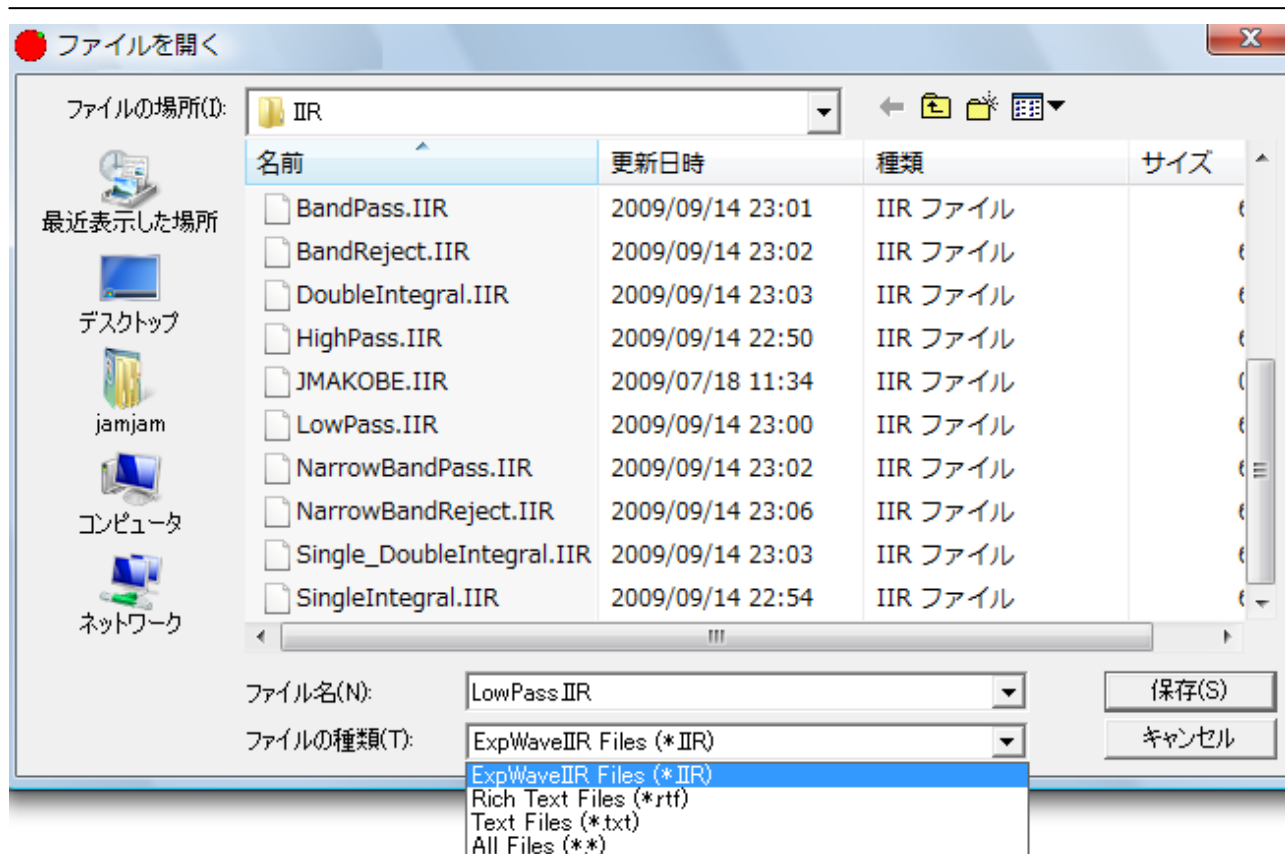



図 38　３種類のファイルの読込

索　引

以下では、**岩崎ソフト**製ディジタルフィルタ作成ソフトウェア「**ExpWave-IIR**」の使用許諾に関する条件を定めています。当該ソフトウェアを使用する前に以下をご一読頂きますようお願いします。
尚、お客様が当該ソフトウェアを使用した時点で、お客様が以下の条件に同意したものとみなします。

ソフトウェア使用許諾契約書

本契約は、お客様(以下「使用者」といいます)と岩崎ソフトとの間における許諾ソフトウェアの使用許諾に関する条件を規定しています。なお、「**許諾ソフトウェア**」とは、岩崎ソフト製ディジタルフィルタ作成ソフトウェア「ExpWave-IIR」を意味します。

第 1 条(総則)
許諾ソフトウェアは、日本国内外の著作権法並びに著作者の権利及びこれに隣接する権利に関する諸条約その他知的財産権に関する法律によって保護されています。許諾ソフトウェアは、本契約の条件に従い岩崎ソフトから使用者に対して使用許諾されるもので、許諾ソフトウェアの著作権等の知的財産権は使用者に移転致しません。

第 2 条(許諾ソフトウェアの使用権)
1.岩崎ソフトは、許諾ソフトウェアの日本国内における非独占的な使用権を使用者に許諾します。
2.前項に定める使用権とは、使用者が許諾ソフトウェアである「ExpWave-IIR」を１台のパソコンにインストールの上、この１台のパソコンを用いて、許諾ソフトウェアを使用する権利をいいます。

第 3 条(許諾ソフトウェアの許諾条件)
1.使用者は、許諾ソフトウェアの一部又は全部を複製、複写若しくは修正、追加等の改変をすることができないものとします。
2.使用者は、許諾ソフトウェアを日本国外に輸出又は移送してはならないものとします。
3.使用者は、許諾ソフトウェアに関し、リバースエンジニアリング、逆アセンブル、逆コンパイル等のソースコード解析作業を行ってはならないものとします。
4.使用者は、許諾ソフトウェアを再使用許諾、貸与又はリースその他の方法で第三者に使用させてはならないものとします。
5.使用者は、許諾ソフトウェアを第三者に譲渡することができないものとします。
6.許諾ソフトウェアの販売を妨害しないため、使用者は、許諾ソフトウェアにより出力されるディジタルフィルタの係数値（プログラムソースコードに含まれる係数値も含む）の全部または一部を第三者に知らせたり、書籍、雑誌、インターネット等で公開したりしてはならないものとします。**注(1)**
7.使用者は、項目 1～6 の許諾条件を守るために、適正に管理するものとします。

第 4 条(許諾ソフトウェアの権利)
許諾ソフトウェアに関する著作権等一切の権利は、岩崎ソフトに帰属するものとし、使用者は、許諾ソフトウェアに関して本契約に基づき許諾された使用権以外の権利を有しないものとします。

第 5 条(無保証)
許諾ソフトウェアは、現状有姿で岩崎ソフトから使用者に対して提供されるものとし、岩崎ソフトは、使用者に対して、エラー・バグ等の不具合がないこと、中断なく稼動すること、有用であること、使用者の利用目的に合致していること等を含め、許諾ソフトウェアに関し明示であると黙示であることを問わず何らの保証も行わないものとします。

第 6 条(岩崎ソフトの免責)
許諾ソフトウェア(全ての構成部分、媒体、電子文書、マニュアル等の関連書類を含みます)に関連して使用者又は第三者に生じた損害に対して、岩崎ソフトは、何らの責任も負わないものとします。

第 7 条(第三者に対する責任)
使用者が許諾ソフトウェアを使用することにより、第三者との間で著作権、特許権その他の知的財産権の侵害を理由として紛争が生じた場合、使用者白身が自らの費用で解決するものとし、岩崎ソフトに一切の迷惑をかけないものとします。

第 8 条(契約解除)
1.岩崎ソフトは、使用者において次の各号に該当する事由が生じた場合、直ちに本契約を解除し、又はそれによって蒙った損害の賠償を使用者に対し請求できるものとします。
(1)本契約に定める条項に違反したとき。
(2)差押、仮差押、仮処分その他強制執行の申立を受けたとき。
2.本契約解除後とも、第 1 条、第 4 条～第 10 条の規定は、有効に存続するものとします。

第 9(条許諾ソフトウェアの廃棄)
前条の規定により本契約が終了した場合、使用者は、直ちに許諾ソフトウェアの使用を中止し、許諾ソフトウェアの全てを廃棄するか、岩崎ソフトに対して返還するものとします。
岩崎ソフトが要求した場合、使用者は許諾ソフトウェアを廃棄した旨を証明する文書を岩崎ソフトに差し入れるものとします。

第 10 条(その他)
1.本契約の一部の条項が法律によって無効となった場合でも、当該条項以外は有効に存続するものとします。
2.本契約の準拠法は、日本国の法律とします。
3.本契約に定めなき事項若しくは本契約の解釈に疑義を生じた場合には、岩崎ソフト及び使用者は誠意をもって協議し、解決するものとします。

注(1):フィルタの係数値を含まない周波数応答特性図、処理結果等を第三者に知らせること及び書籍、雑誌、インターネット等での公開は、この限りではありません。また、フィルタの係数値が明示的に示されないコンパイルされたコードで埋め込まれた機器の販売もこの限りではありません。

非売品
岩崎ソフト

http://iwasakisoft.com

〒236-0005
横浜市金沢区並木 **2-4-3-206**
作成：平成 **22** 年 **10** 月
電話：045-785-1156

E-mail: expwave@iwasakisoft.com